



Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants Causse

▪ Annexes

Mars 2006



Sommaire des annexes

1.1	Photographies des sources et stations principales	9
1.2	Microtectonique	29
1.2.1	Site « BOYNE »	29
1.2.2	Site « La Fagette »	36
1.2.3	Site « La Vignasse »	41
1.2.4	Site « D32 »	46
1.2.5	Site « Vallée du Tarn »	50
1.2.6	Site « St Rome de Dolan »	54
1.2.7	Site « Sermeillets »	57
1.2.8	Site « D67 »	61
1.2.9	Site « RN9 »	64
1.2.10	Site Nord Campagnac	69
1.3	Hydrodynamique	73
1.3.1	Hydrogrammes journaliers	73
1.3.2	Débits classés (données journalières)	80
1.3.3	Corrélogrammes croisés et spectres (données journalières)	82
1.3.4	Analyses en ondelettes de Morlets des débits (données journalières)	87
1.3.5	Corrélogrammes croisés pluies-débits (données semi-horaires)	92
1.3.6	Spectres débits (données horaires)	94
1.3.7	Analyses en ondelettes de Morlet des débits (semi-horaire)	96
1.3.8	Analyse du tarissement	98
1.4	Résultats des tracages	100
1.4.1	Photographies et graphiques des restitutions	100
1.4.2	Tableaux	126
1.4.3	DTS : explications et théorie	167
1.5	Hydrochimie	169
1.5.1	Echantillonnage	169
1.5.2	Méthodes Analytiques	173
1.5.3	Résultats des analyses des campagnes mensuelles	175
1.5.4	Résultats des analyses des campagnes ponctuelles	187
1.6	Estimation des apports d'eaux souterraines du Causse de Sauveterre et du Causse Méjean au Tarn entre Ispagnac et le Rozier	190
1.7	Fiche synthétique par sources karstiques	193

Légende des figures

Figure 1 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=56 ; plan moyen 86/262)	30
Figure 2 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=53 ; plan moyen 86/177)	30
Figure 3 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=30 ; plan moyen 80/308)	30
Figure 4 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=24 ; plan moyen 78/229)	30
Figure 5 : Histogramme des directions de joints du site Boyne.....	31
Figure 6 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages.....	32
Figure 7 : Rose des azimuts du pendages des fractures.....	32
Figure 8 : Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site de Boyne (N=163). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune)	33
Figure 9: Résolution du tenseur des contraintes selon la méthode l'inversion directe (Angelier, 1990).....	34
Figure 10 : Résolution du tenseur des contraintes selon la méthode du dièdre droit.....	35
Figure 11 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=18 ; plan moyen 86/091)	36
Figure 12 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=9 ; plan moyen 86/003)	36
Figure 13 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=8 ; plan moyen 89/127)	37
Figure 14 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=14 ; plan moyen 89/222)	37
Figure 15 : Histogramme des directions de joints du site « La Fagette »	38
Figure 16 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages.....	39
Figure 17 : Rose des azimuts du pendages des fractures montrant la prédominance des fractures N-S (J1) et diagonales (J4) et sur les fractures E-W J2 et diagonales J4).....	39

Figure 18 : Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "La Fagette" (N=51). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune).....	40
Figure 19 : Résolution du tenseur des contraintes selon la méthode l'inversion directe (Angelier, 1990)	40
Figure 20 : Calcul du tenseur des contraintes selon la méthode du dièdre droit.....	41
Figure 21 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=24 ; plan moyen 88/276)	42
Figure 22 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=20 ; plan moyen 90/183)	42
Figure 23 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=30 ; plan moyen 88/305)	42
Figure 24 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=30 ; plan moyen 89/225)	42
Figure 25 : Histogramme des directions de joints du site "La Vignasse"	43
Figure 26 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages.....	44
Figure 27 : Rose des azimuts du pendages des fractures montrant la prédominance des azimuts J4	44
Figure 28 : Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "La Vignasse" (N=51). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune).....	44
Figure 29 : Résolution du tenseur des contraintes pour le site de "La Vignasse"	45
Figure 30 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=15 ; plan moyen 84/086)	46
Figure 31 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=21 ; plan moyen 61/006)	46
Figure 32 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=15 ; plan moyen 311/73)	47
Figure 33 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=4 ; plan moyen 79/227)	47
Figure 34: Histogramme des directions des fractures du site "D32"	48
Figure 35 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages.....	48
Figure 36 : Rose des azimuts du pendages des fractures.....	48

Figure 37 : Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "D32" (N=55). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune).....	49
Figure 38: Résolution du tenseur des contraintes du site "D32". Méthode du dièdre droit	49
Figure 39 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=15 ; plan moyen 84/267)	51
Figure 40 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=5 ; plan moyen 86/005)	51
Figure 41 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=5 ; plan moyen 81/226)	51
Figure 42 : Histogramme des directions des joints du site "Vallée du Tarn"	52
Figure 43 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages	52
Figure 44 : Rose des azimuts du pendages des factures.....	52
Figure 45: Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "vallée du Tarn" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J4-jaune).....	53
Figure 46 : Résolution du tenseur des contraintes sur les mesures du site "Vallée du Tarn"- Méthode de l'inversion directe.....	54
Figure 47 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=66 ; plan moyen 83/267)	55
Figure 48 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=41 ; plan moyen 86/001)	55
Figure 49 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=21 ; plan moyen 81/311)	55
Figure 50 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=33 ; plan moyen 88/054)	55
Figure 51: histogramme des directions du site St Rome de Dolan	56
Figure 52 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages	56
Figure 53 : Rose des azimuts des pendages des factures	56
Figure 54: Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site « St Rome de Dolan » (N=161). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-Violet, J4-jaune)	57
Figure 55 : Résolution du tenseur des contraintes.....	57

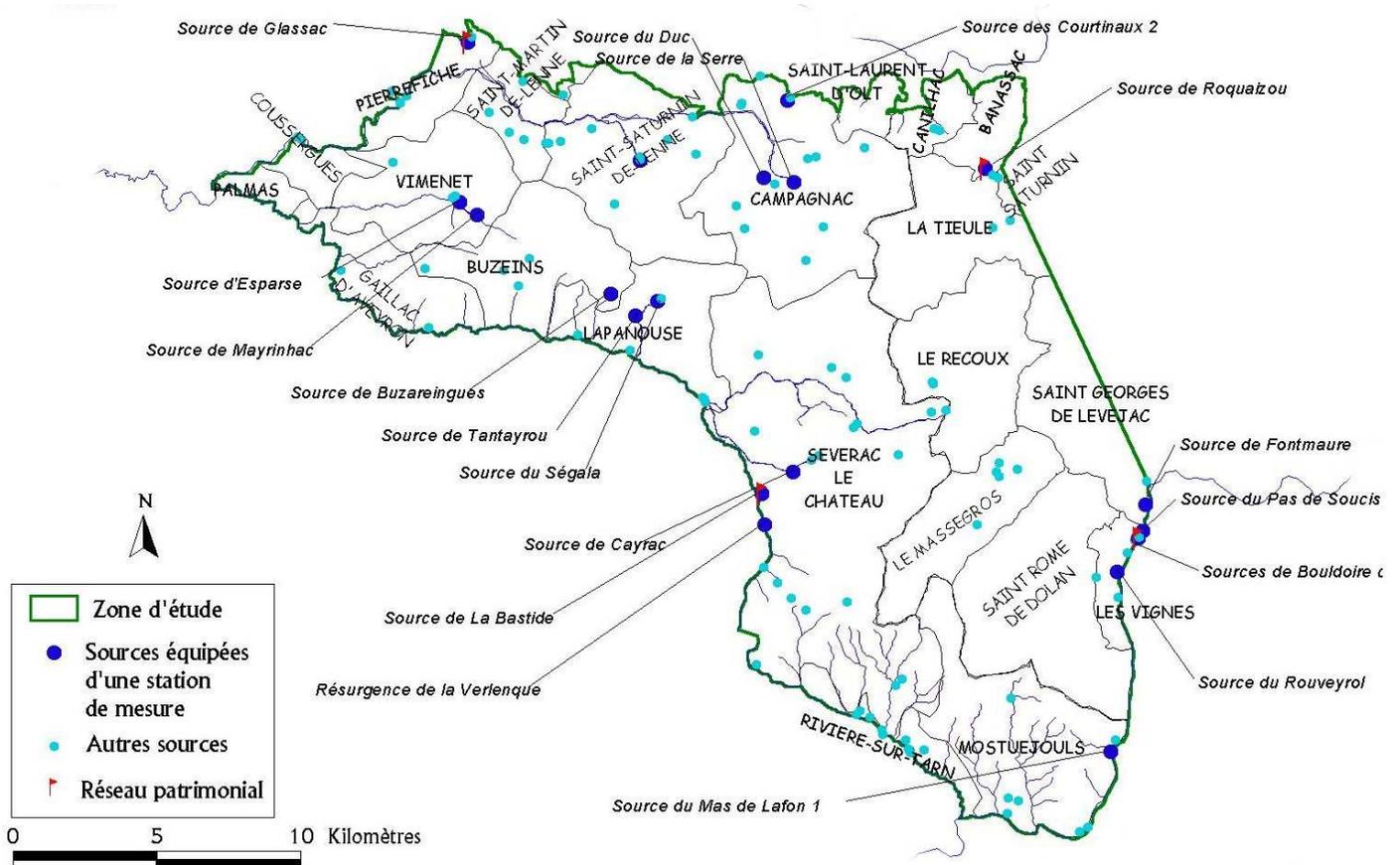
Figure 56 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=33 ; plan moyen 89/257)	58
Figure 57 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=24 ; plan moyen 86/004)	58
Figure 58 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=14 ; plan moyen 90/319)	59
Figure 59 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=11 ; plan moyen 75/040)	59
Figure 60: Histogramme des directions de fractures du site "Sermeillets"	59
Figure 61 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages	60
Figure 62 : Rose des azimuts du pendages des factures.....	60
Figure 63: Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "vallée du Tarn" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-Violet, J4-jaune).....	60
Figure 64 : Résolution du tenseur des contraintes pour le site de "Sermeillets"- Méthode du dièdre droit	61
Figure 65 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=17 ; plan moyen 89/266)	62
Figure 66 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=15 ; plan moyen 73/357)	62
Figure 67 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=8 ; plan moyen 80/307)	62
Figure 68 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=12 ; plan moyen 86/052)	62
Figure 69: Histogramme des directions des joints du site "D67"	63
Figure 70 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages	63
Figure 71 : Rose des azimuts du pendages des factures.....	63
Figure 72:Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "D67" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune.	64
Figure 73: Résolution du tenseurs des contraintes du site "D67"-Méthode du dièdre droit	64
Figure 74 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=80 ; plan moyen 88/266)	65

Figure 75 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=64 ; plan moyen 89/182)	65
Figure 76 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=34 ; plan moyen 88/130)	65
Figure 77 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=71 ; plan moyen 86/228)	65
Figure 78: Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "vallée du Tarn" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-Violet, J4-jaune).....	66
Figure 79 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages.....	67
Figure 80 : Rose des azimuts du pendages des factures.....	67
Figure 81 : Histogramme des directions des joints du site « RN9 »	67
Figure 82 : Résolution d'un tenseur des contraintes pour des mesures effectuées sur le site RN9.	68
Figure 83: Résolution d'un tenseur des contraintes pour des mesures effectuées sur le site RN9.	68
Figure 84 : Résolution d'un tenseur des contraintes pour des mesures effectuées sur le site RN9.	69
Figure 85 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=48 ; plan moyen 84/262)	70
Figure 86 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=36 ; plan moyen 85/007)	70
Figure 87 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=34 ; plan moyen 87/313)	70
Figure 88 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=28 ; plan moyen 87/043)	70
Figure 89 : Histogramme des directions de joints pour le site "Nord-Campagnac"	71
Figure 90 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages.....	72
Figure 91 : Rose des azimuts du pendages des factures.....	72
Figure 92: Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site " Site Nord Campagnac " (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune).	72

Figure 93 : Résolution du tenseur des contraintes pour le site "Nord-Campagnac"- Méthode de l'inversion directe	73
Figure 94 : Tableau de suivi mensuel du réseau de catégories 1 et 2 – analyses disponibles	170
Figure 95 : Cartes des sources étudiées.....	171
Figure 96 : Comparaison entre conductivités terrain et conductivités calculées de la campagne de mai 2004.....	174

1.1 Photographies des sources et stations principales

19 stations hydrométriques – 120 sources étudiées – plus de 150 sources recensées



Source de la Bastide



Source de Beldoire



Source de Glassac



Déviations de la Serre

Source de Roquaizou



Source de Buzareingues



Source de Cayrac



Source des Courtinaux



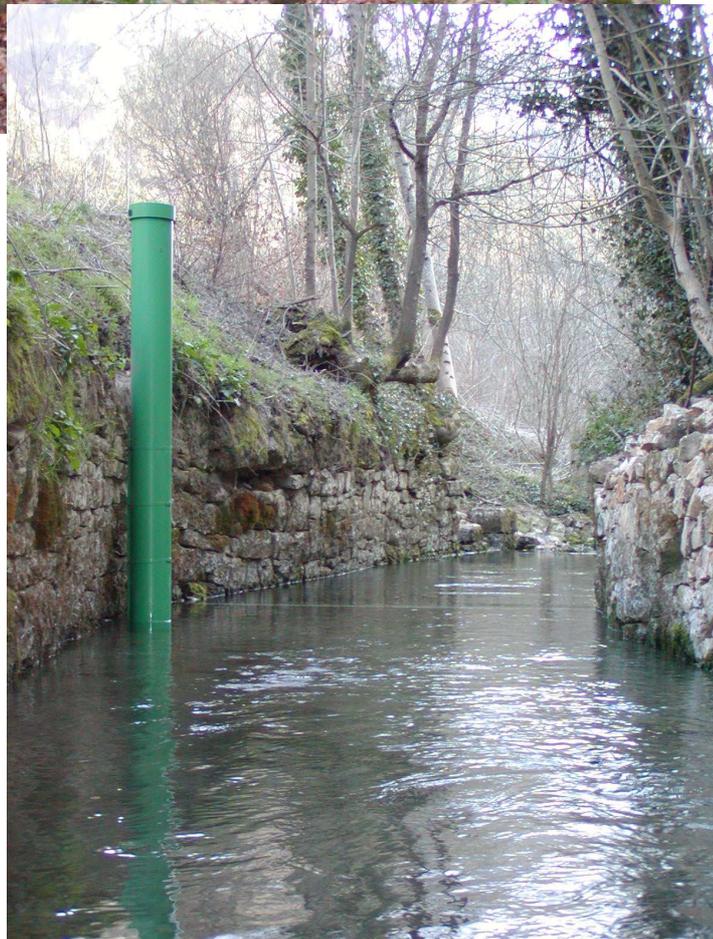
Source du Duc



Source d'Esparses



Source de Fontmaure



Source de Lestang



Source de Mas de Lafon



Source de Mayrinhac



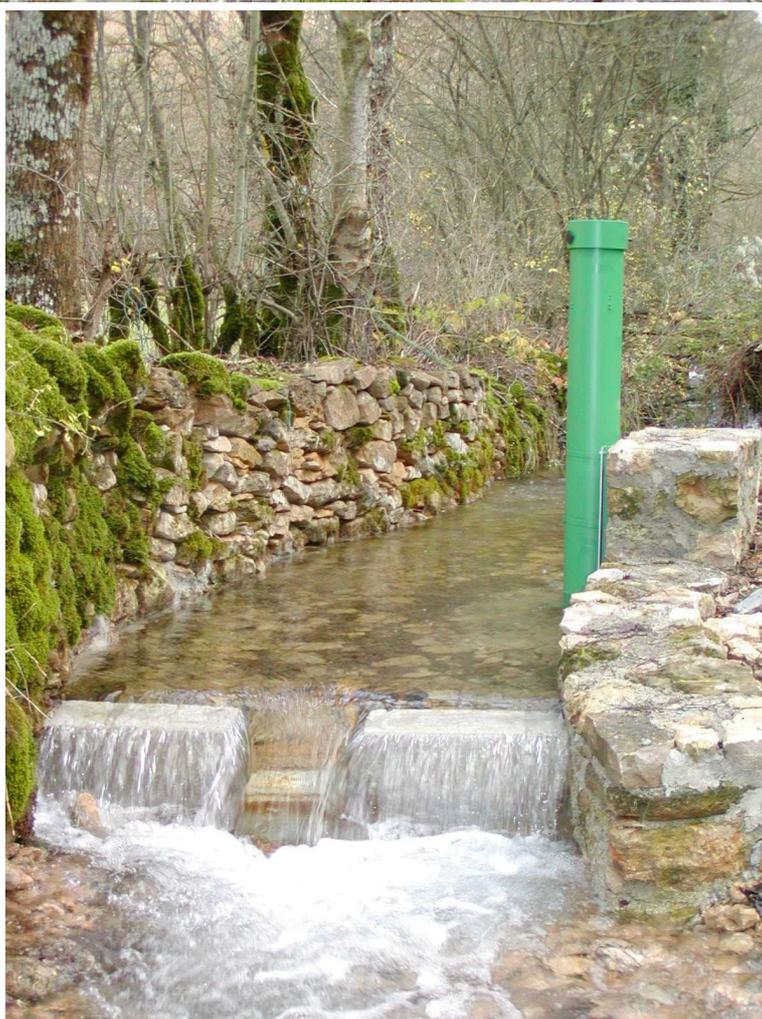
Source du Rouveyrol



Source du Ségala



Source de la Serre



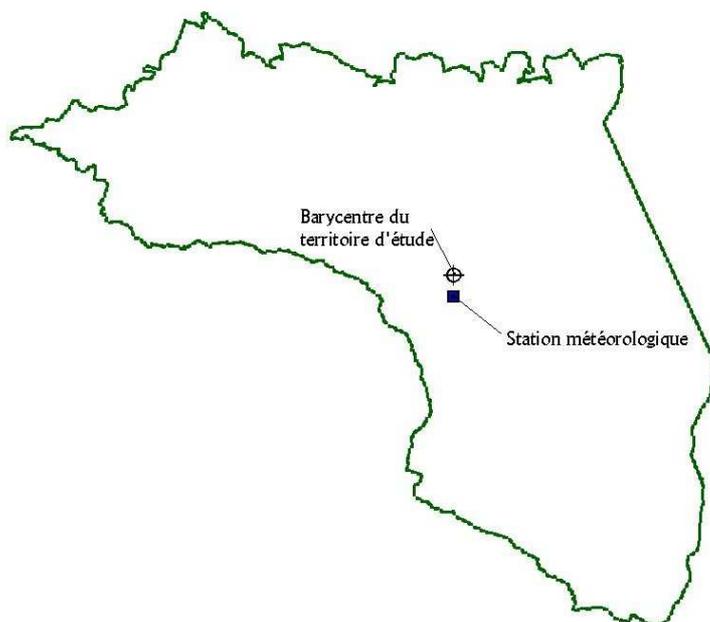
Source de Tantayrou



Source de Verlenque



Station météorologique



1.2 Microtectonique

1.2.1 Site « BOYNE »

Le site « Boyne » correspond à la partie la plus méridionale de l'étude. Les mesures ont été effectuées dans le Toarcien sup.-Aalénien (BRGM St Beuzely, afflmt GCau12-23-22 N=62) et dans le Bajocien inférieur (BRGM St Beuzely, afflmt GCau13-24-30-31 N=101). Dans la zone géographique de Boyne, 163 mesures de fractures ont été effectuées. Ces mesures sont regroupées en 4 familles d'orientations des fractures dont les plans moyens sont :

J1 (86/262 ; N=56, 34.4%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 1) ;

J2 (86/177 ; N= 53 ; 32.5%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 2) ;

J3 (80/308 ; N= 30 ; 18.4%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 3) ;

J4 (78/229 ; N= 24 ; 14.7%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 4).

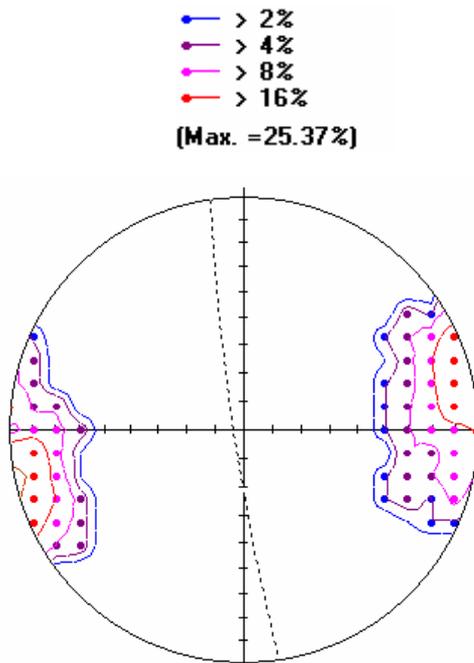


Figure 1 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=56 ; plan moyen 86/262)

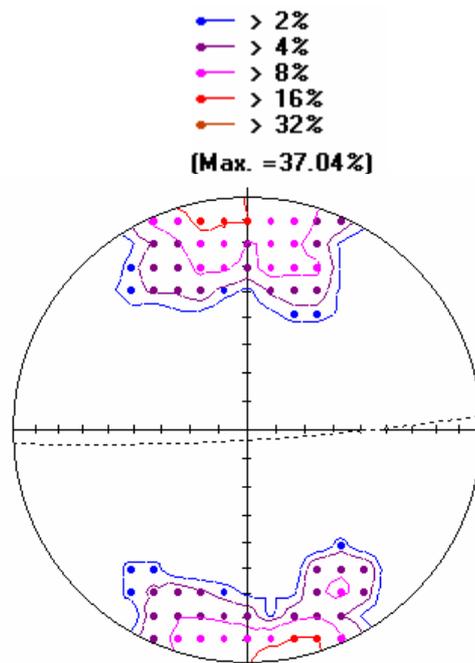


Figure 2 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=53 ; plan moyen 86/177)

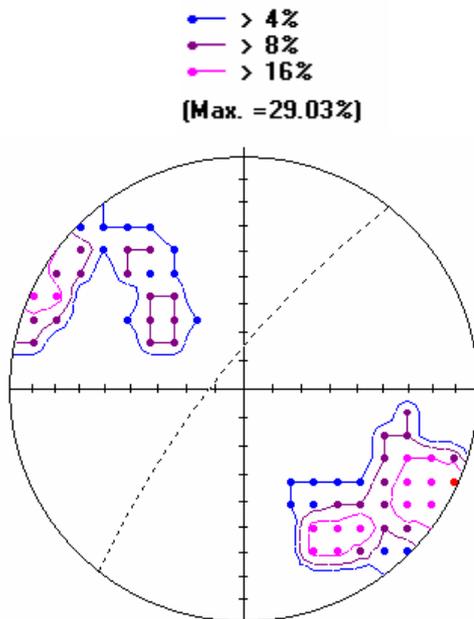


Figure 3 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=30 ; plan moyen 80/308)

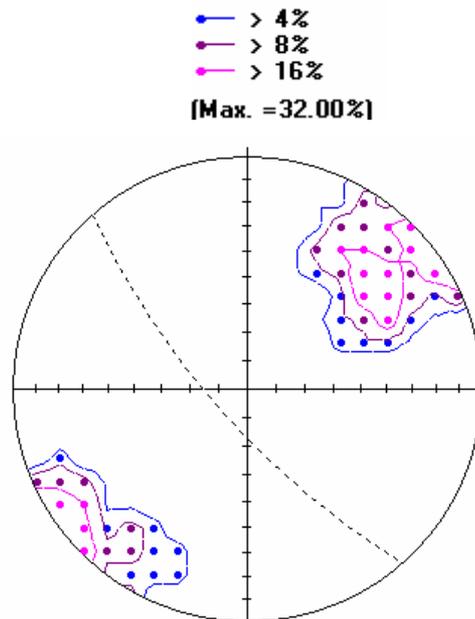


Figure 4 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=24 ; plan moyen 78/229)

Ces joints sont aussi représentés dans un histogramme (Figure 5) qui montre les effets de concentrations même si la séparation en famille de joints est moins claire. Il n'en demeure pas moins que les pics correspondant aux familles de joints J1 à J4 apparaissent. Des classes de 15° ont été choisies pour rendre ces familles distinctes. On peut observer clairement que les familles J3 et J4 sont moins représentées.

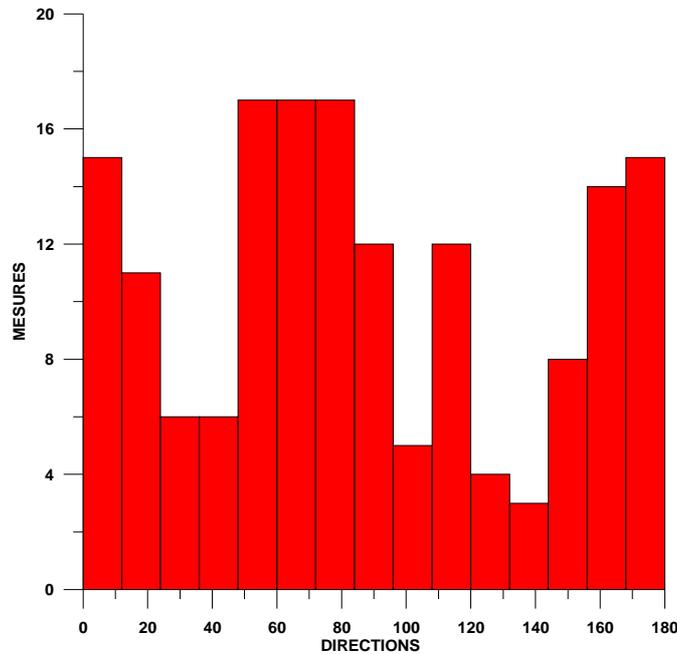


Figure 5 : Histogramme des directions de joints du site Boyne

Les données sont aussi représentées sur un diagramme direction vs pentages qui montre la forte valeur du pendage quelque soit la direction considérée (

Figure 6). Nous proposons aussi un diagramme en rose qui reflète l'orientation de l'azimut du pendage des fractures.

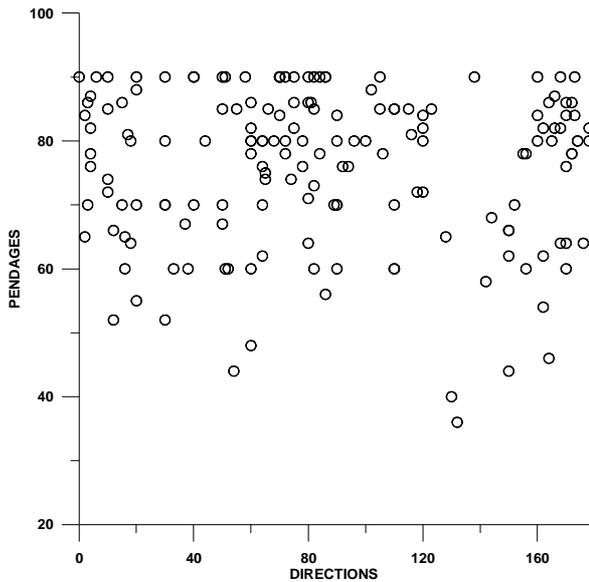


Figure 6 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

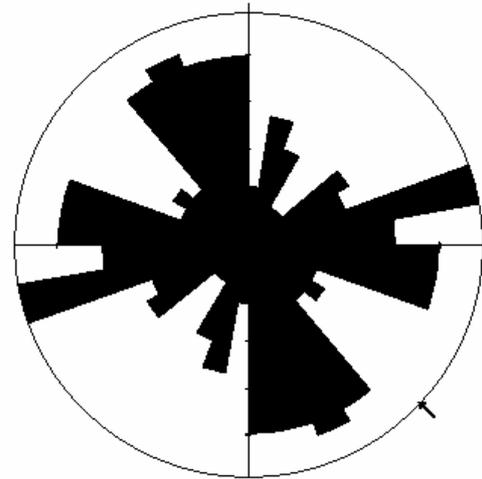


Figure 7 : Rose des azimuts du pendages des factures

Les données sont graphiquement représentées sur un diagramme isoaire (Figure 8). Pratiquement tous les pôles des joints mesurés sont localisés en périphérie du canevas et sont proches du pendage de la stratification qui est subhorizontale. La relation géométrique entre l'orientation de la stratification et celles de la fracturation est proche de la perpendiculaire. Une telle perpendicularité entre stratification et fracturation est extrêmement commune en particulier dans les zones subcratoniques.

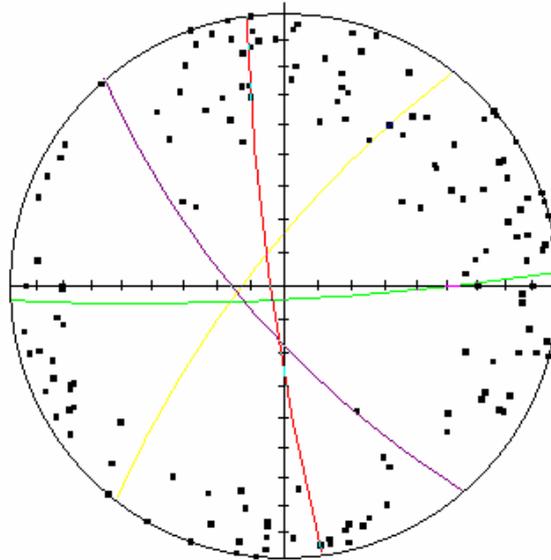


Figure 8 : Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site de Boyne (N=163). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune)

Du point de vue de l'analyse cinématique des plans de failles, comme dans la plupart des affleurements que nous avons étudiés, peu de surfaces ont pu être clairement caractérisées à l'aide de stries de calcite développées de manière syncinématique. Par ailleurs nous n'avons pas mis en évidence de d'intersection de fibres de calcite. Par conséquent, la chronologie relative des failles ne peut être déterminées de manière objective. Pour les 5 failles mesurées, la résolution du tenseur des contraintes est exprimée sur la Figure 9 selon la technique de l'inversion directe. Deux autres failles mesurées dans ce secteur ne peuvent par être résolue par ce tenseur de contraintes. C'est pourquoi elles ont été traitées selon la méthode du dièdre droit (Figure 10).

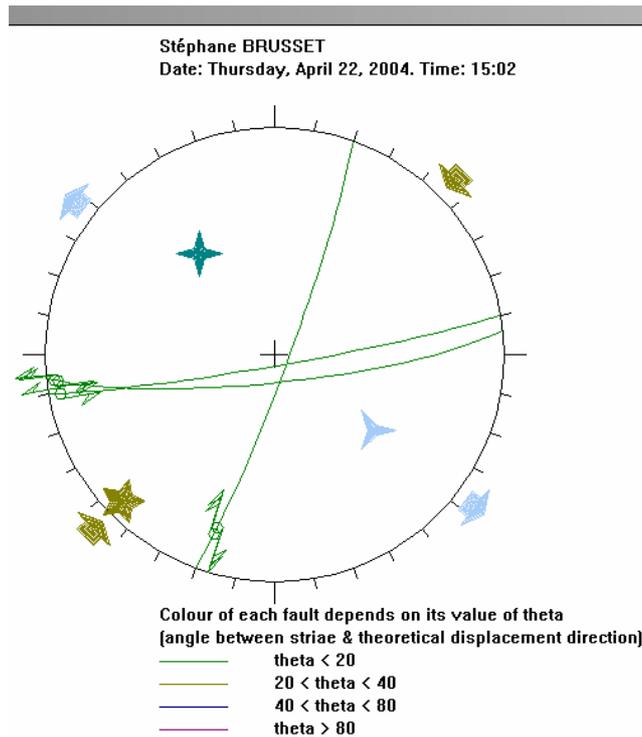


Figure 9: Résolution du tenseur des contraintes selon la méthode l'inversion directe (Angelier, 1990)

La Figure 9 montre l'orientation du tenseur probablement générateur de la nucléation des fractures. Les valeurs σ_1 , σ_2 et σ_3 sont respectivement 8/225, 45/324 et 45/128. Le calcul de ce tenseur se révèle de bonne qualité même si la quantité de failles est relativement faible. En effet, l'angle θ qui correspond à la différence entre le mouvement théorique imposé par le tenseur et chacune des valeurs angulaires mesurées des lignes selon lesquelles le mouvement s'est réellement opéré, est inférieur à 20° .

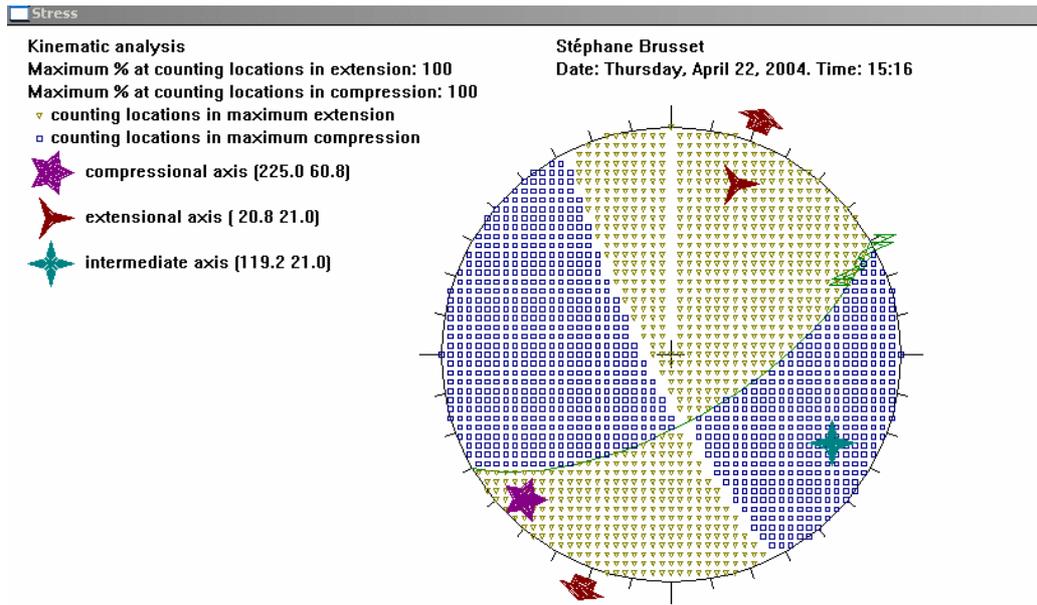


Figure 10 : Résolution du tenseur des contraintes selon la méthode du dièdre droit

Les deux autres failles qui ont été mesurées dans ce secteur n'obéissent visiblement pas au même tenseur. Elles ont été analysées selon la méthode du dièdre droit. Le tenseur résultant donne les valeurs $\sigma_1 = 61/225$, $\sigma_2 = 21/119$ et $\sigma_3 = 21/21$.

1.2.2 Site « La Fagette »

Le site « La Fagette » se situe dans la partie centrale de la coupe étudiée. Les mesures ont été effectuées dans le Bajocien inférieur (BRGM Séverac le Château, afflmt GCau11-52-54-55-56 N=51).

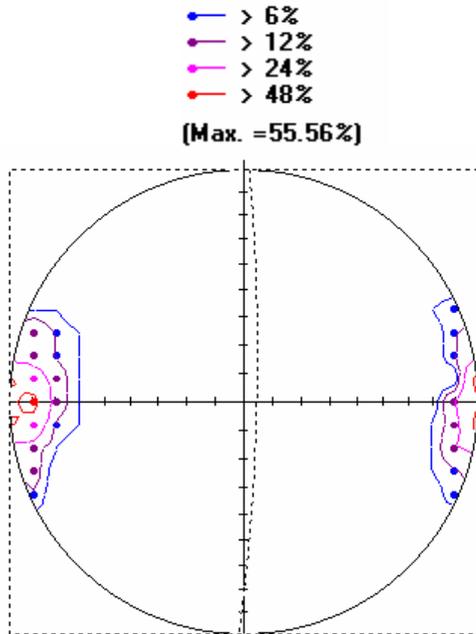


Figure 11 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=18 ; plan moyen 86/091)

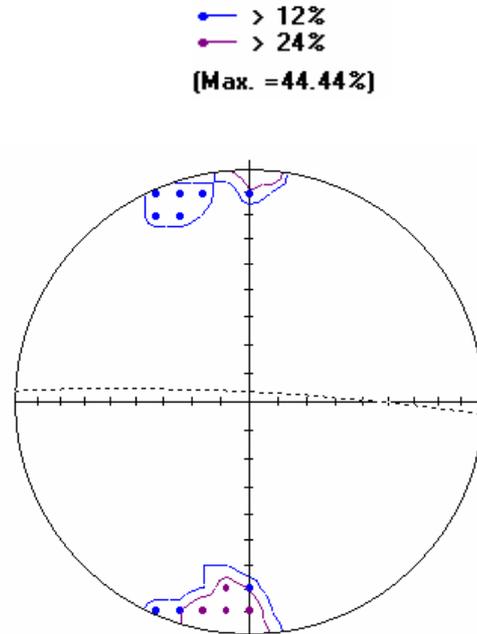
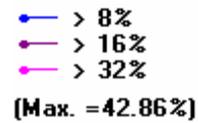
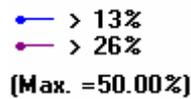


Figure 12 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=9 ; plan moyen 86/003)



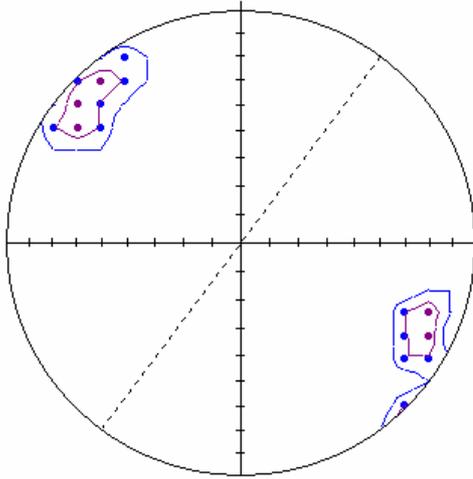


Figure 13 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=8 ; plan moyen 89/127)

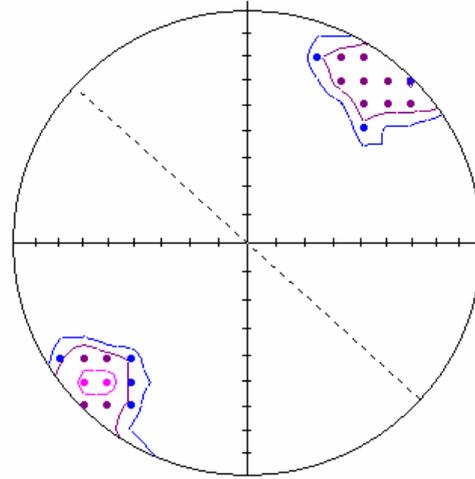


Figure 14 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=14 ; plan moyen 89/222)

Dans la zone géographique de « la Fagette », 51 mesures de fractures ont été effectuées. Ces mesures sont regroupées en 4 familles d'orientations des fractures dont les plans moyens sont :

J1 (N=18 ; plan moyen 86/091 ; 35,3%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 11) ;

J2 (N=9 ; plan moyen 86/003 ; 17.6%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 12) ;

J3 (N=8 ; plan moyen 89/127 ; 15.7%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 13) ;

J4 (N=14 ; plan moyen 89/222 ; 27.5%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 14).

Ces joints sont aussi représentés dans un histogramme (Figure 15) qui montre les effets de concentrations. Il permet de montrer les deux directions qui correspondent à chaque famille. En effet dans la détermination des familles deux azimuts perpendiculaires sont sélectionnés. Sur l'histogramme, on voit la représentation respective des ces deux direction. Par exemple pour la famille J1, on peut remarquer que les directions comprises entre N0 et N30E sont moins représentées celles comprises entre N150E et N180E.

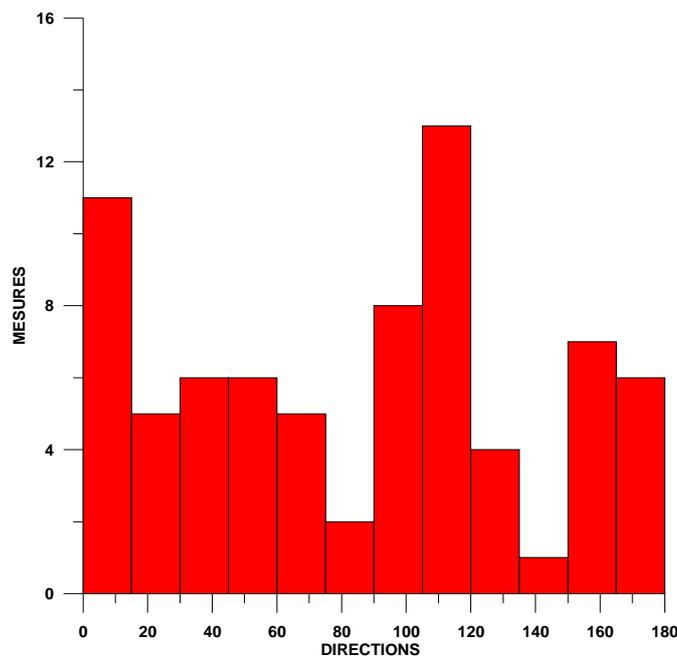


Figure 15 : Histogramme des directions de joints du site « La Fagette »

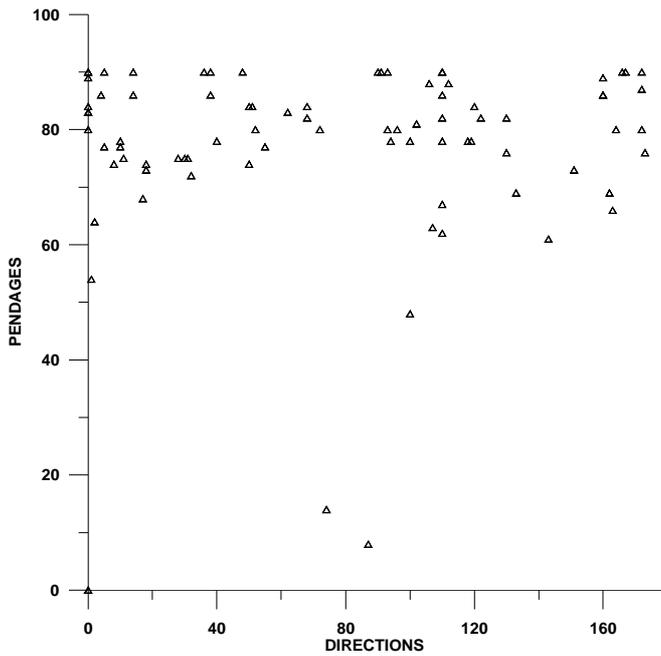


Figure 16 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

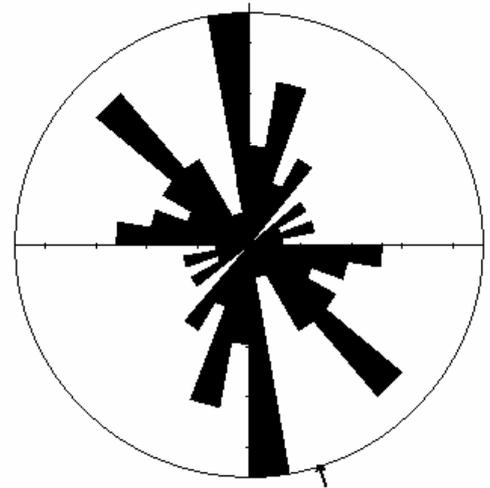


Figure 17 : Rose des azimuts du pendages des fractures montrant la prédominance des fractures N-S (J1) et diagonales (J4) et sur les fractures E-W J2 et diagonales J4)

Sur les diagrammes des Figure 16 et Figure 17, il est clairement exprimés que la majeure partie des joints présente un pendage fort ($>60^\circ$) et que deux familles de fractures prédominent J1 et J4.

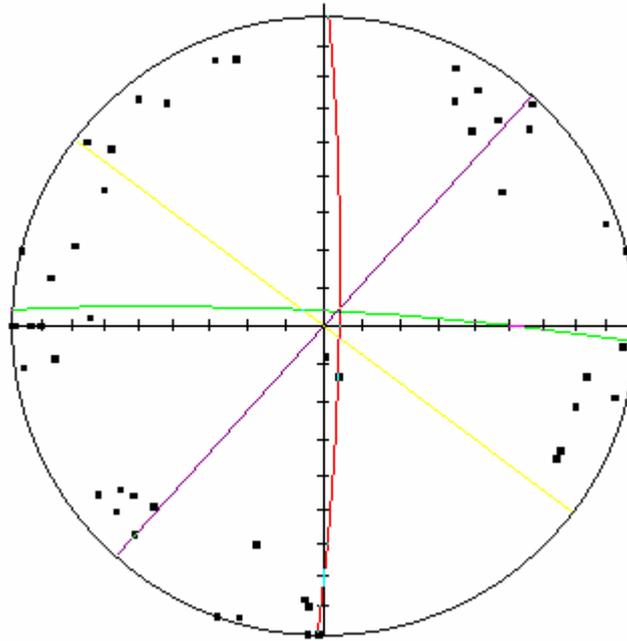


Figure 18 : Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "La Fagette" (N=51). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune)

La Figure 18 montre l'ensemble des données et les plans moyens des fractures que l'on utilisera pour la représentation 3D.

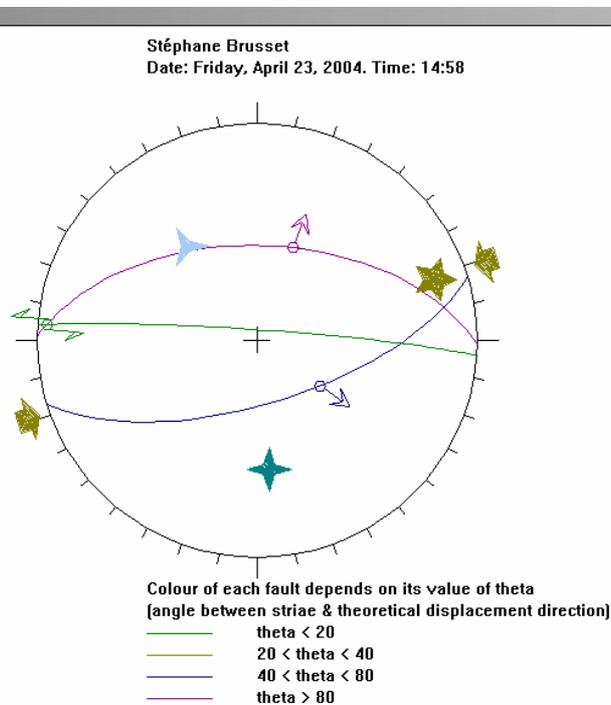


Figure 19 : Résolution du tenseur des contraintes selon la méthode l'inversion directe (Angelier, 1990)

Trois failles mesurées ont permis la résolution d'un tenseur selon la méthode de l'inversion directe. Le meilleur tenseur calculé donne des valeurs $\sigma_1 = 16/70$, $\sigma_2 = 40/174$ et $\sigma_3 = 45/323$. Ce tenseur est calculé avec le nombre minimum de failles que nécessite la méthode et la valeur θ est, pour deux failles sur trois, supérieure à 40° . Par conséquent on se situe à la limite de la méthode et la confiance vis-à-vis de ce calcul du tenseur ne peut être élevée.

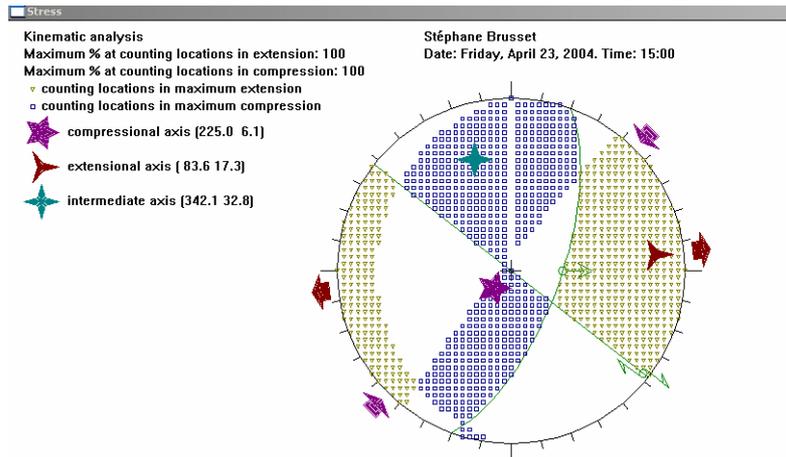


Figure 20 : Calcul du tenseur des contraintes selon la méthode du dièdre droit.

La méthode du dièdre droit donne en revanche des valeurs $\sigma_1 = 6/225$, $\sigma_2 = 17/84$ et $\sigma_3 = 32/341$ qui sont plus en conformité avec les données régionales.

1.2.3 Site « La Vignasse »

Le site « La Vignasse » se situe dans la partie centrale de la coupe étudiée. Les mesures ont été effectuées dans le Hettangien (BRGM Séverac le Château, affilmt GCau18 N=104).



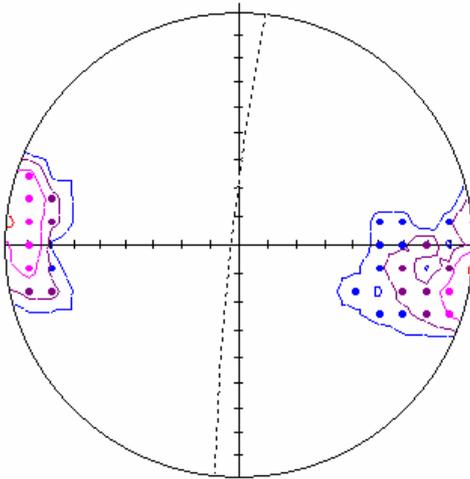


Figure 21 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=24 ; plan moyen 88/276)

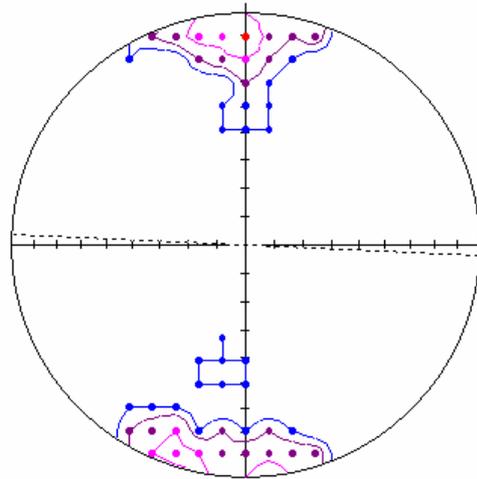


Figure 22 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=20 ; plan moyen 90/183)

— > 5%
 — > 10%
 — > 20%
 (Max. =40.00%)

— > 5%
 — > 10%
 — > 20%
 — > 40%
 (Max. =45.83%)

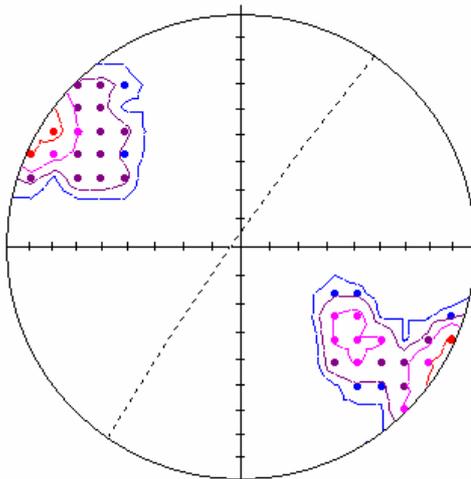


Figure 23 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=30 ; plan moyen 88/305)

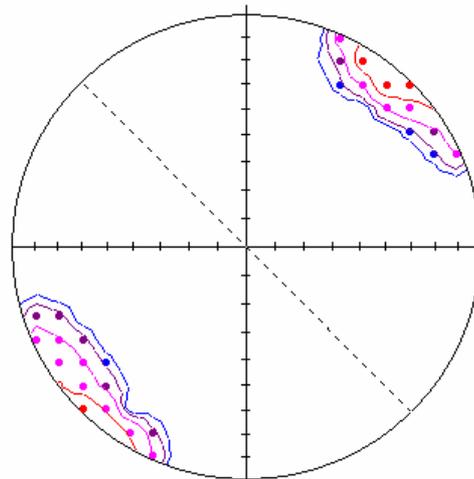


Figure 24 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=30 ; plan moyen 89/225)

J1 (N=24 ; plan moyen 88/276 ; 23.1%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 21) ;

J2 (N=20 ; plan moyen 183/90 ; 19.2%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 22) ;

J3 (N=30 ; plan moyen 88/305 ; 28.8%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 23) ;

J4 (N=30 ; plan moyen 89/225 ; 28.8%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 24).

Ces familles de joints sont représentées sur un histogramme (Figure 25) où la séparation des chacune des familles peut être envisagée en deux sous-famille plus ou moins représentées suivant le quadrant vers où plongent ces fractures.

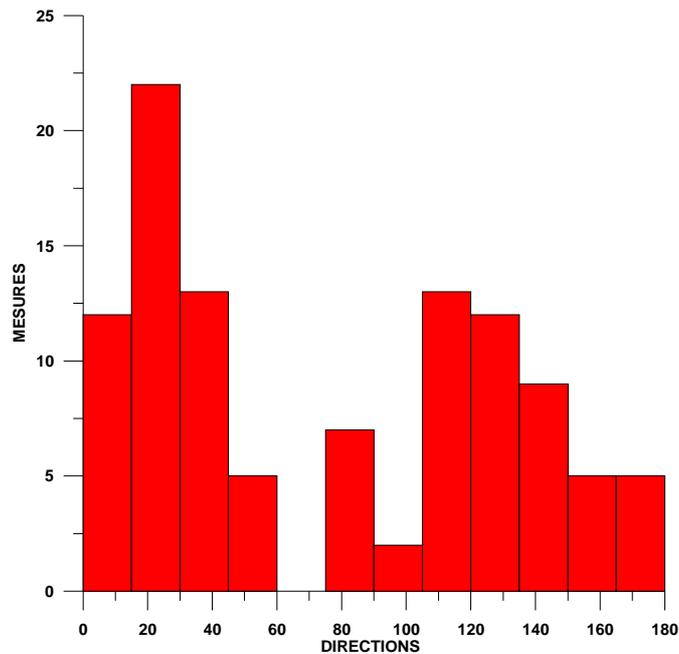


Figure 25 : Histogramme des directions de joints du site "La Vignasse"

Le diagramme Figure 26 que sur ce site on rencontre une proportion de 18% de fractures dont le pendage est plus faible ($< 60^\circ$) que sur les autres sites.

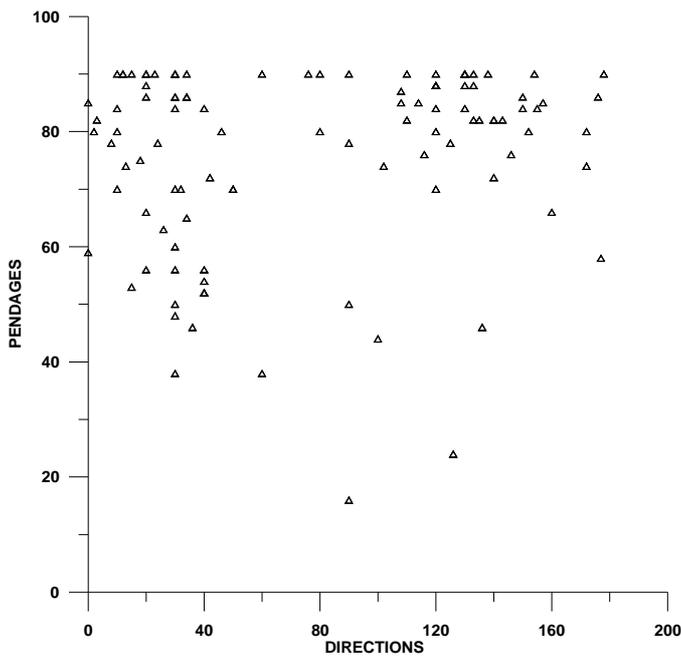


Figure 26 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

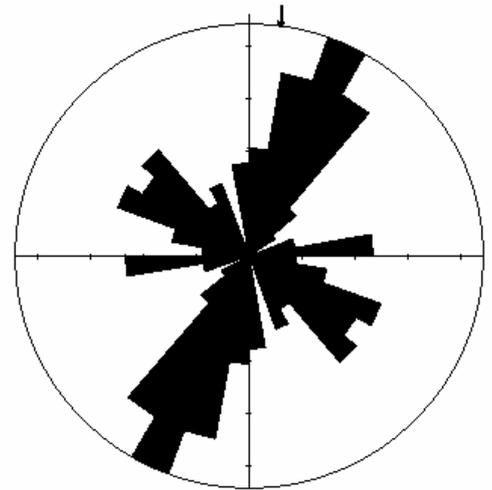


Figure 27 : Rose des azimuts du pendages des factures montrant la prédominance des azimuts J4

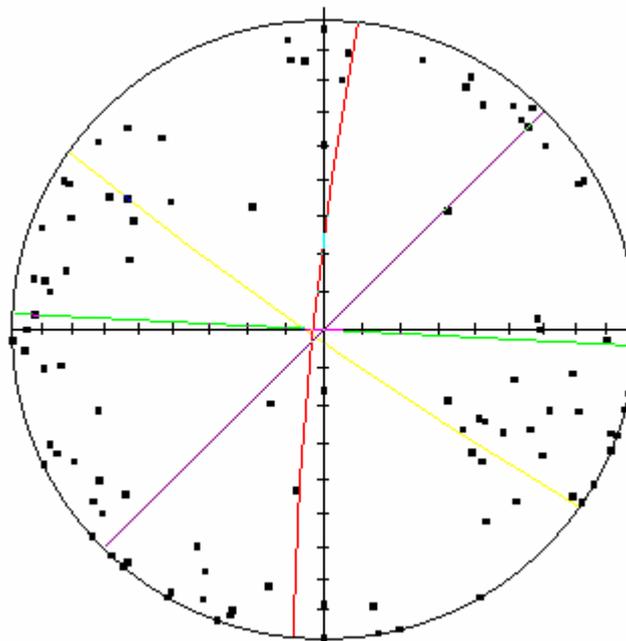


Figure 28 : Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "La Vignasse" (N=51). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune)

La Figure 28 montre l'ensemble des données et les plans moyens des fractures que l'on utilisera pour la représentation 3D.

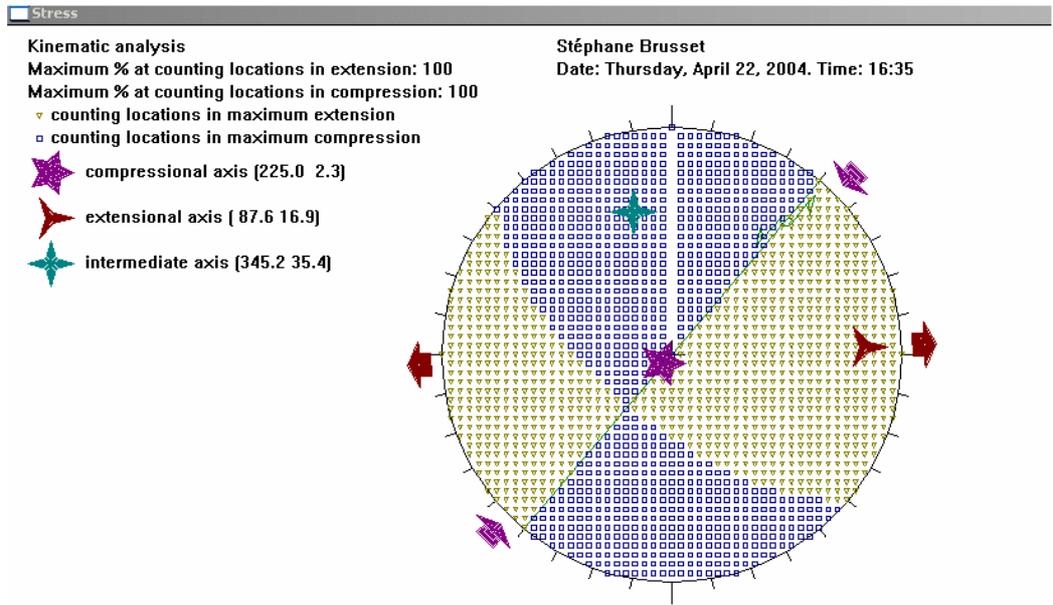


Figure 29 : Résolution du tenseur des contraintes pour le site de "La Vignasse"

Une seule structure striée a été relevée sur ce site. Elle n'a donc pu être résolue que par la méthode du dièdre droit (Figure 29). Les contraintes déterminées par cette méthode donnent $\sigma_1 = 2.3/225$, $\sigma_2 = 35.4/345.2$ et $\sigma_3 = 16.9/87.6$. Compte tenu du nombre de données, on doit être vigilant quant à l'interprétation du résultat. Cependant cette mesure est cohérente avec les connaissances régionales.

1.2.4 Site « D32 »

Le site « D32 » se situe dans la partie centrale de la coupe étudiée. Les mesures ont été effectuées dans l'Hettangien, le Sinémurien, le Bajocien et le Bathonien (BRGM Séverac le Château, afflmt GCau14, 15, 25 26 ; N=55).

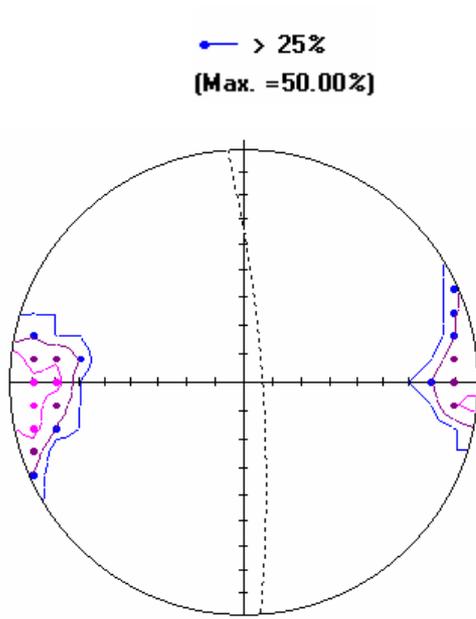


Figure 30 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=15 ; plan moyen 84/086)

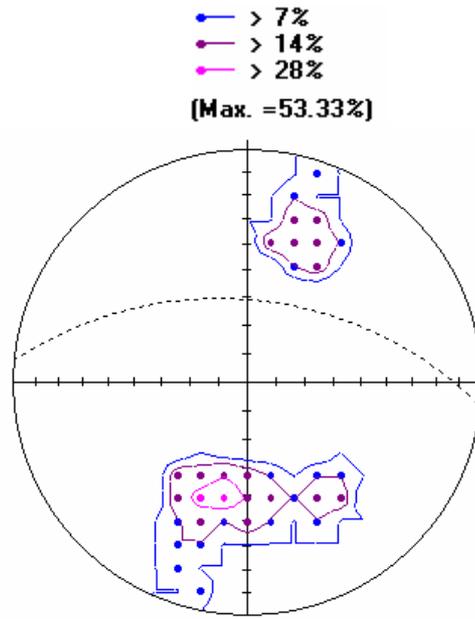
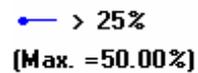
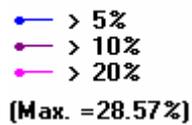


Figure 31 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=21 ; plan moyen 61/006)



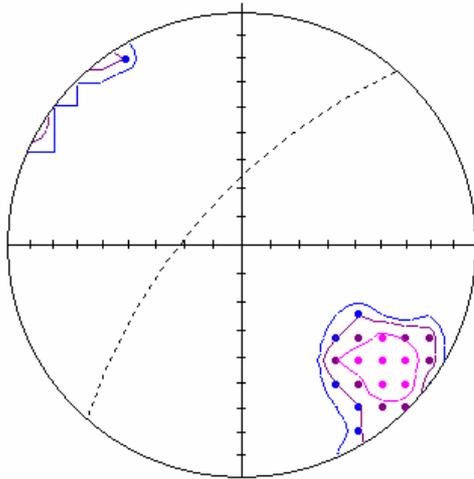


Figure 32 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=15 ; plan moyen 311/73)

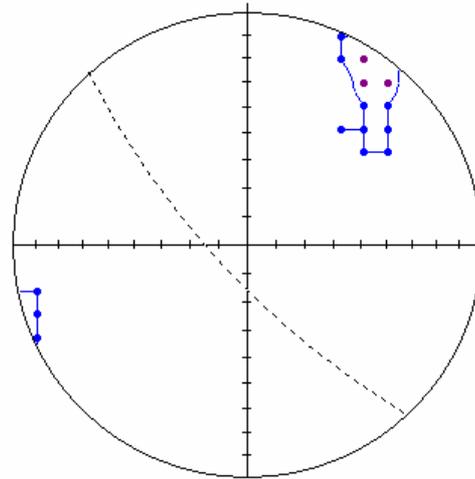


Figure 33 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=4 ; plan moyen 79/227)

J1 (N=15 ; plan moyen 84/086 ; 27.3%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 30) ;

J2 (N=21 ; plan moyen 61/006 ; 38.1%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 31) ;

J3 ((N=15 ; plan moyen 311/73 ; 27.3%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 32) ;

J4 ((N=4 ; plan moyen 79/227 ; 7.3%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 33).

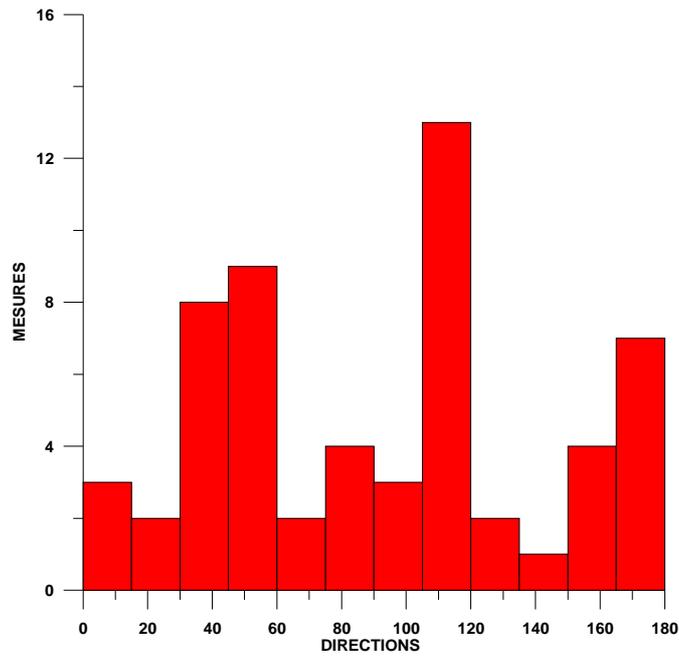


Figure 34: Histogramme des directions des fractures du site "D32"

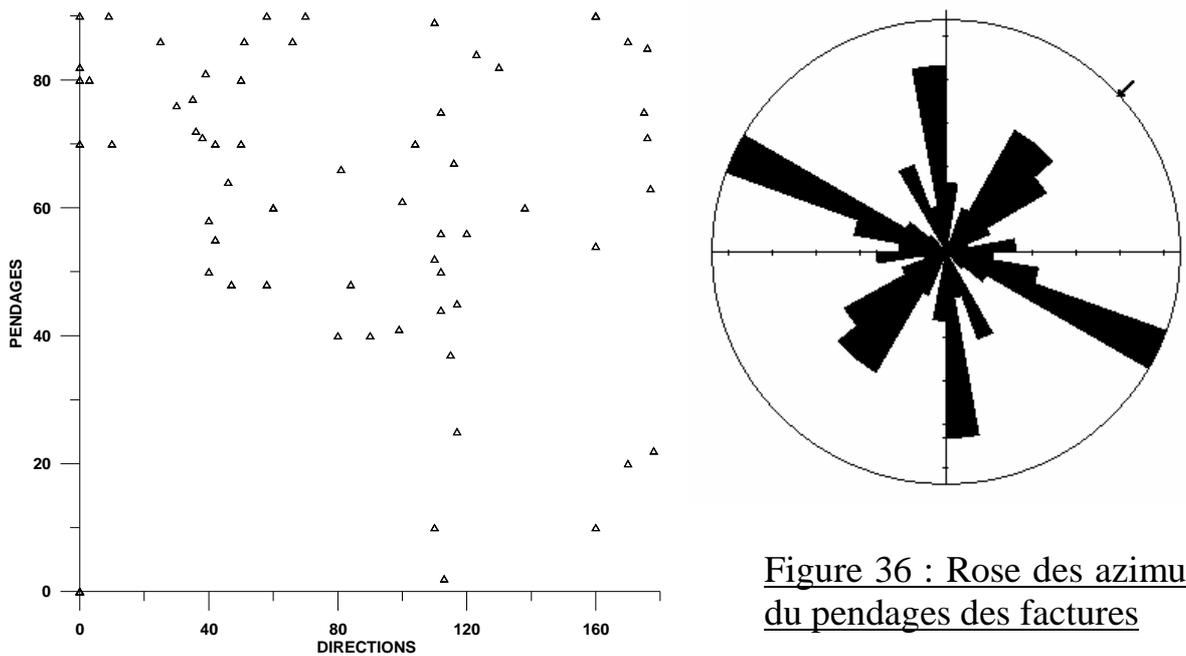


Figure 35 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

Figure 36 : Rose des azimuts du pendages des factures

Sur ce site une proportion non négligeable de pendages est inférieure à 60° (Figure 35) même si la majeure partie reste supérieure à 50°.

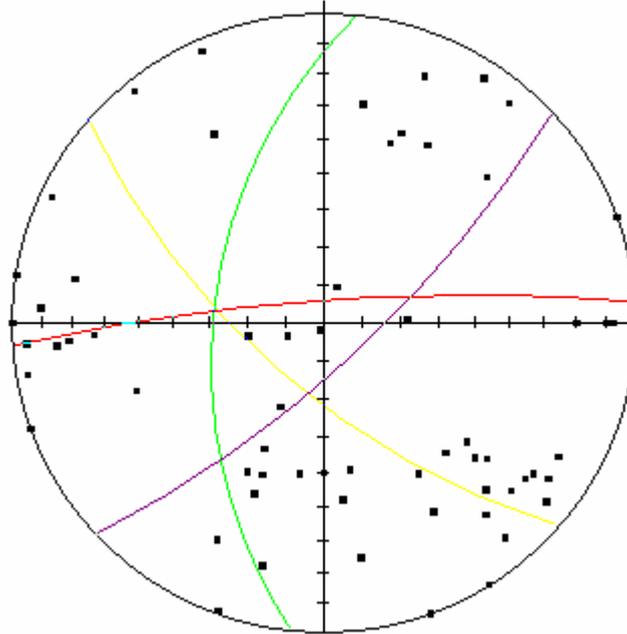


Figure 37 : Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "D32" (N=55). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune)

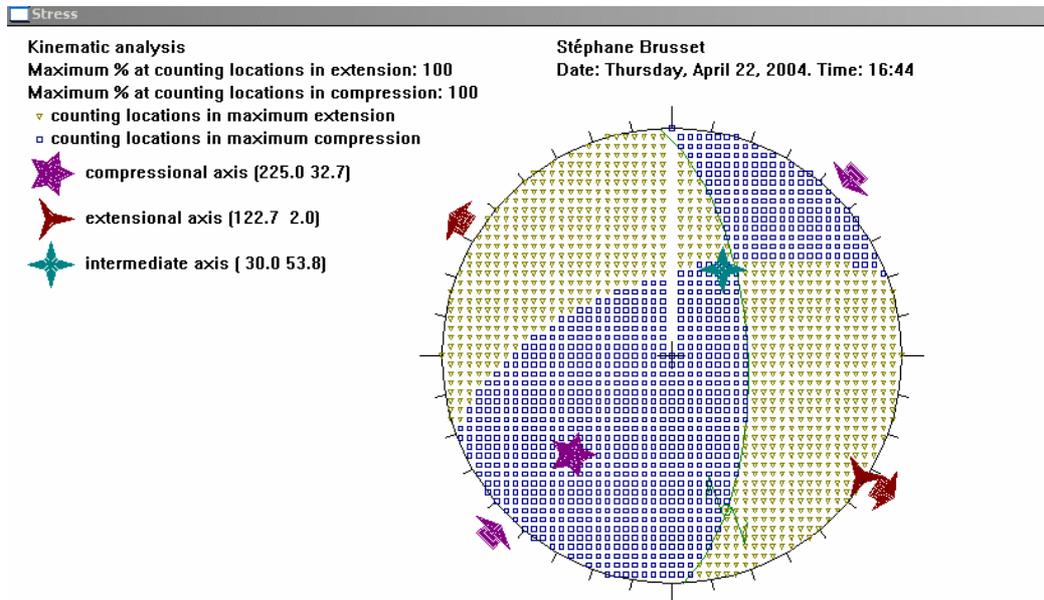


Figure 38: Résolution du tenseur des contraintes du site "D32". Méthode du dièdre droit

Une seule structure striée a été relevée sur ce site. Elle n'a donc pu être résolue que par la méthode du dièdre droit (Figure 38). Les contraintes déterminées par cette méthode donnent $\sigma_1 = 32/225$, $\sigma_2 = 30/53.8$ et $\sigma_3 = 2/122.7$. Compte tenu du nombre de données, on doit être vigilant quant

à l'interprétation du résultat bien que cette mesure soit cohérente avec les connaissances régionales.

1.2.5 Site « Vallée du Tarn »

Pour le site «Vallée du Tarn», les mesures ont été effectuées dans le Bathonien (BRGM St Beuzely, afflmt GCau32, 33 ; N=20)

—●— > 7%
—●— > 14%
—●— > 28%
—●— > 56%
(Max. =66.67%)

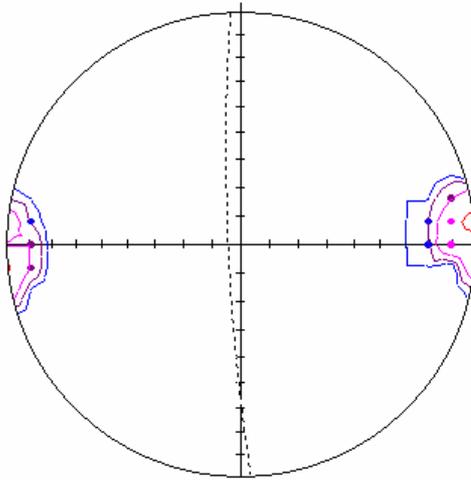


Figure 39 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=15 ; plan moyen 84/267)

—●— > 20%
(Max. =40.00%)

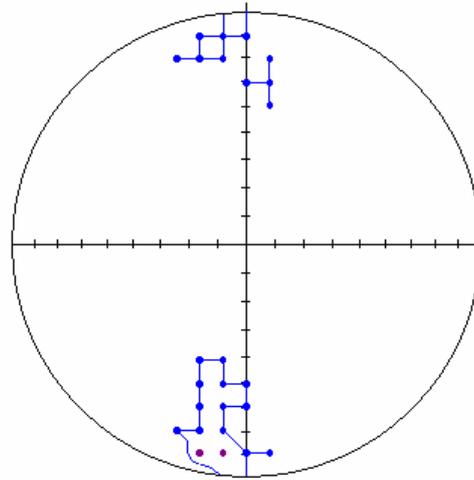


Figure 40 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=5 ; plan moyen 86/005)

—●— > 20%
(Max. =40.00%)

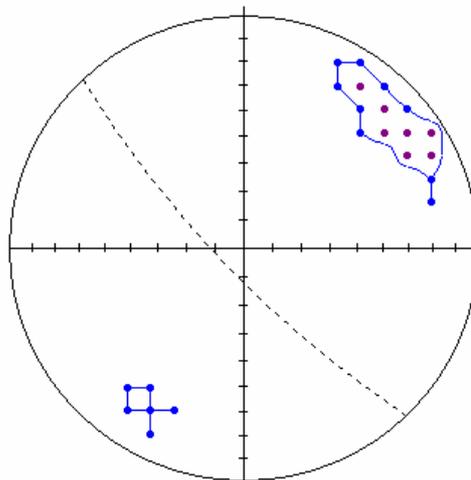


Figure 41 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=5 ; plan moyen 81/226)

J1 (N=15 ; plan moyen 84/267 ; 60%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 39) ;

J2 (N=5 ; plan moyen 86/005 ; 20%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 40) ;

J4 (N=5 ; plan moyen 81/226 ; 20%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 41).

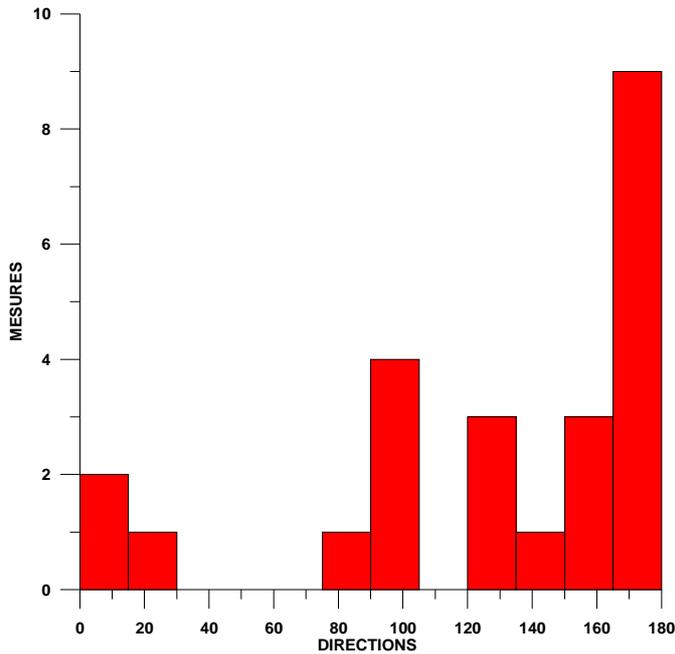


Figure 42 : Histogramme des directions des joints du site "Vallée du Tarn"

L'histogramme des directions de fractures (Figure 42) montre la non représentation de la famille de joint J3 que l'on peut attribuer à l'orientation des affleurements.

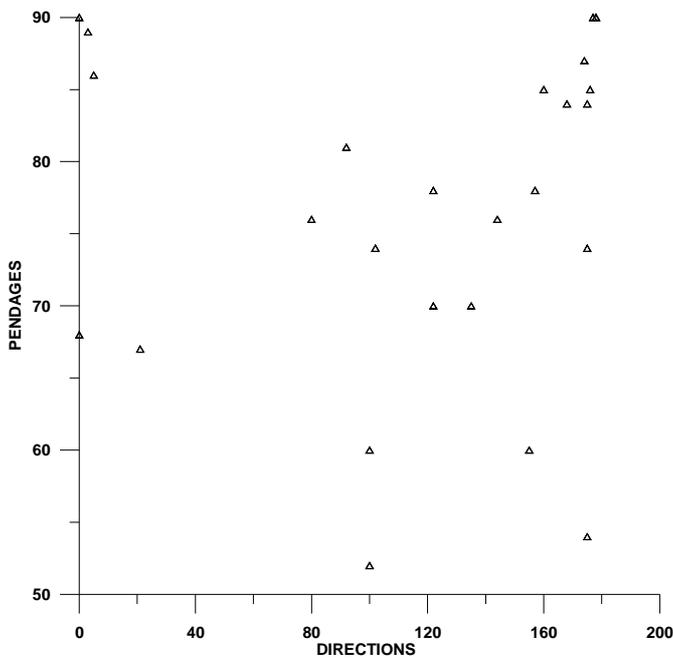


Figure 43 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

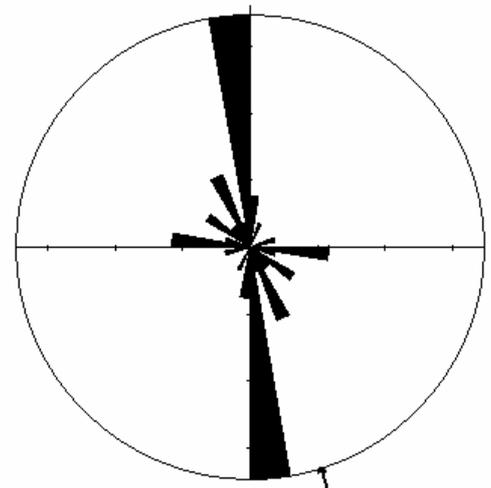


Figure 44 : Rose des azimuts du pendages des factures

Sur ce site les pendages sont élevés ($>50^\circ$) pour toutes des familles de fractures (Figure 43).

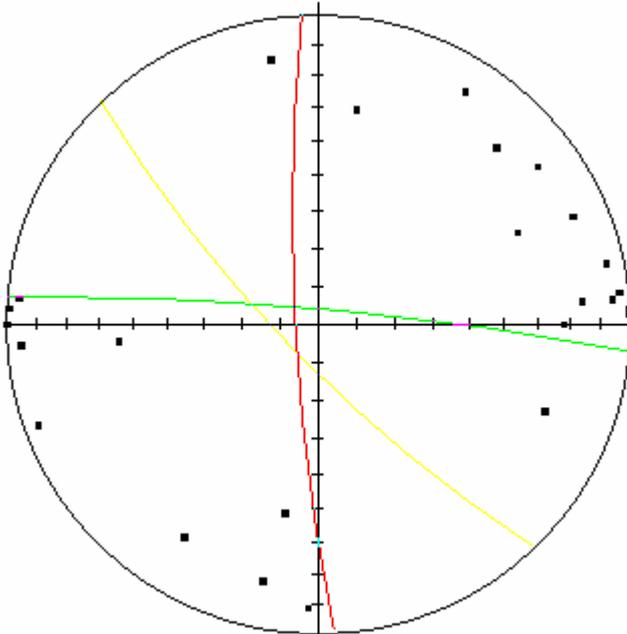


Figure 45: Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "vallée du Tarn" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J4-jaune)

Du point de vue de l'analyse cinématique des plans striés mesurés, on obtient en utilisant la méthode de l'inversion directe $\sigma_1=65.7/28.8$; $\sigma_2=13.5/150.9$ et $\sigma_3=19.8/245$. On peut avoir un bon degré de confiance vis-à-vis de ce tenseur puisque θ est faible.

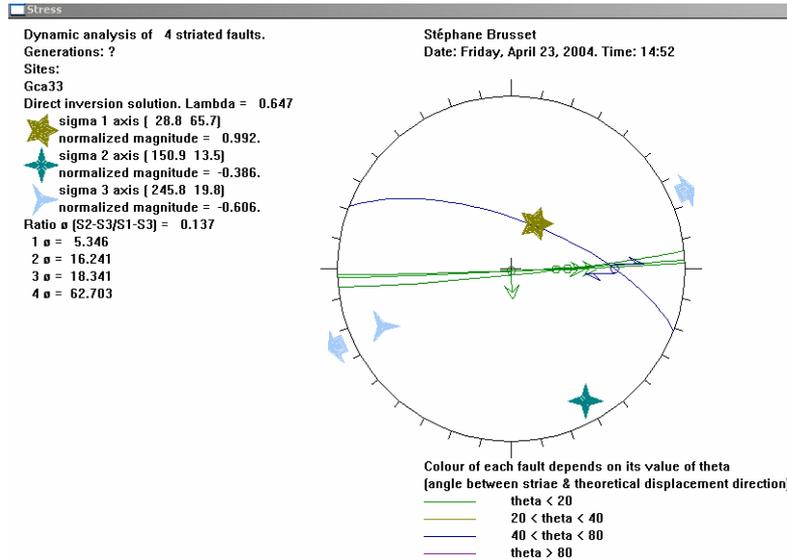


Figure 46 : Résolution du tenseur des contraintes sur les mesures du site "Vallée du Tarn"- Méthode de l'inversion directe

1.2.6 Site « St Rome de Dolan »

Pour le site «St Rome de Dolan», les mesures ont été effectuées dans le Bathonien et le Bajocien (BRGM Sévérac-Le-Château, afflmt GCau34, 35 ; 36 et 63 ; N=161)



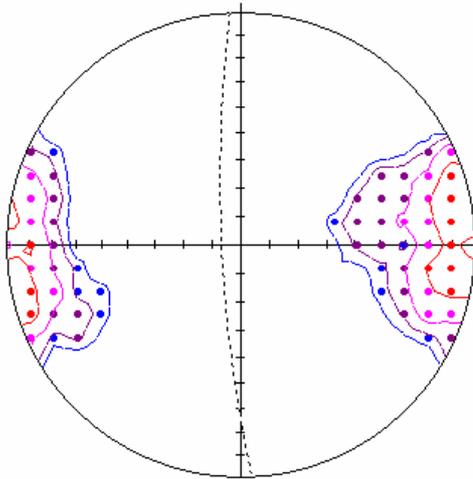


Figure 47 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=66 ; plan moyen 83/267)

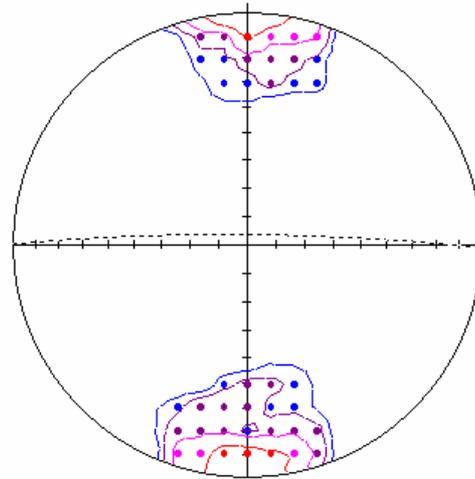


Figure 48 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=41 ; plan moyen 86/001)

— > 3%
 — > 6%
 — > 12%
 — > 24%
 (Max. = 46.34%)

— > 2%
 — > 4%
 — > 8%
 — > 16%
 (Max. = 27.27%)

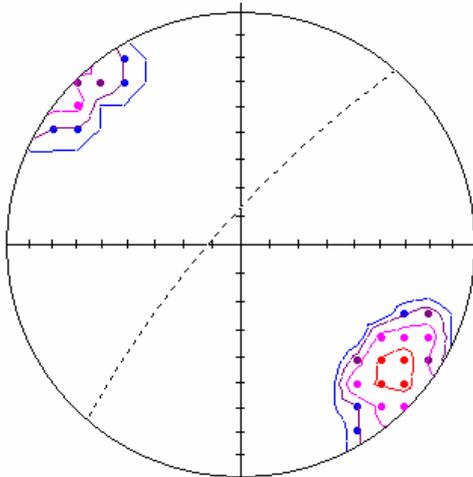


Figure 49 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=21 ; plan moyen 81/311)

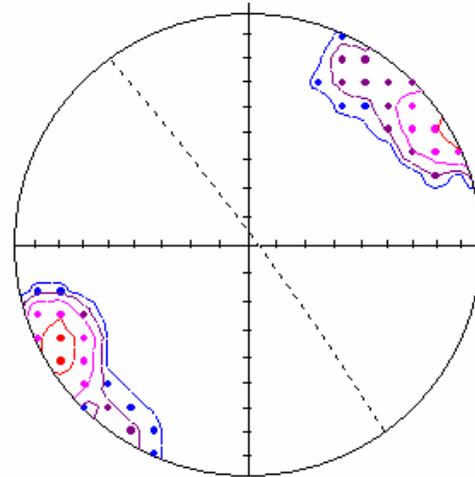


Figure 50 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=33 ; plan moyen 88/054)

J1 (N=66 ; plan moyen 83/267 ; 40.1%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 47) ;

J2 (N=41 ; plan moyen 86/001 ; 24.7%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 48) ;

J3 (N=21 ; plan moyen 81/311 ; 13%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 49) ;

J4 (N=33 ; plan moyen 88/054 ; 20.1%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 50).

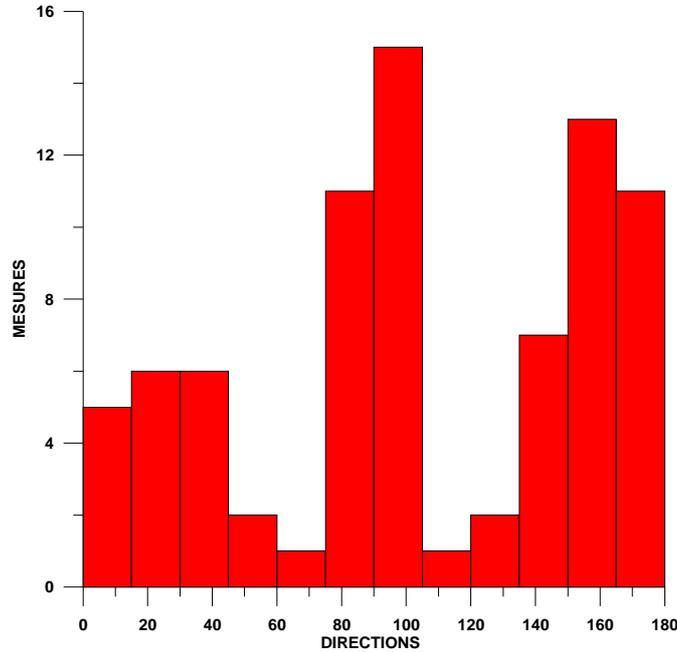


Figure 51: histogramme des directions du site St Rome de Dolan

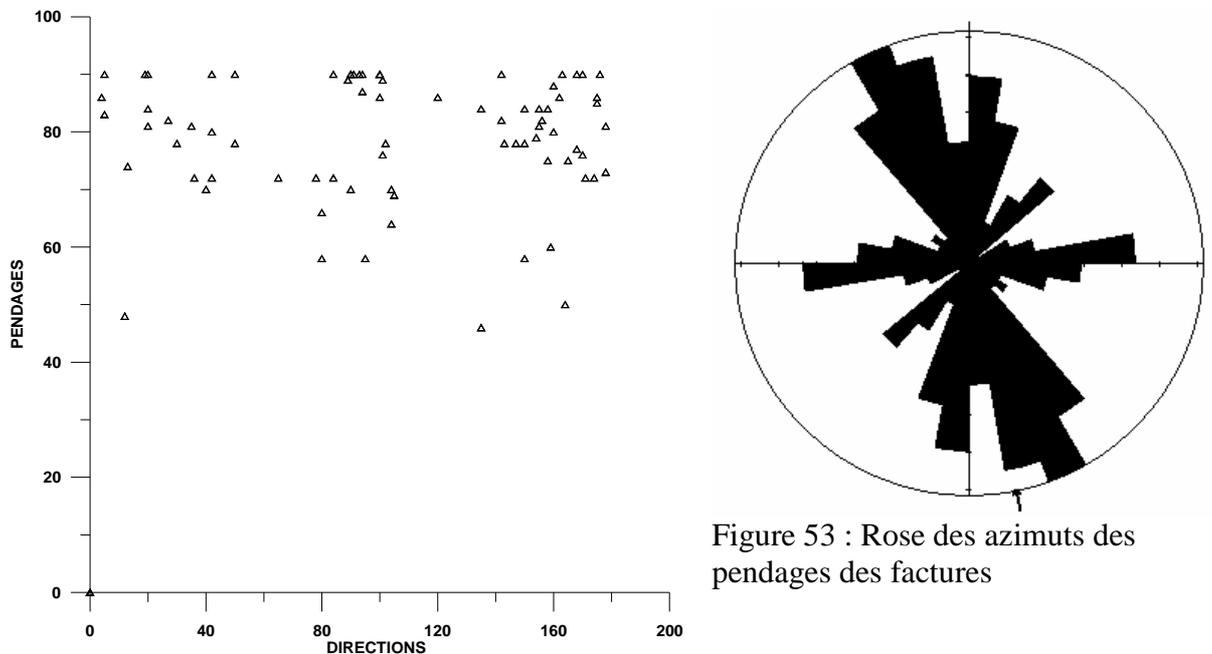


Figure 52 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

Figure 53 : Rose des azimuts des pendages des factures

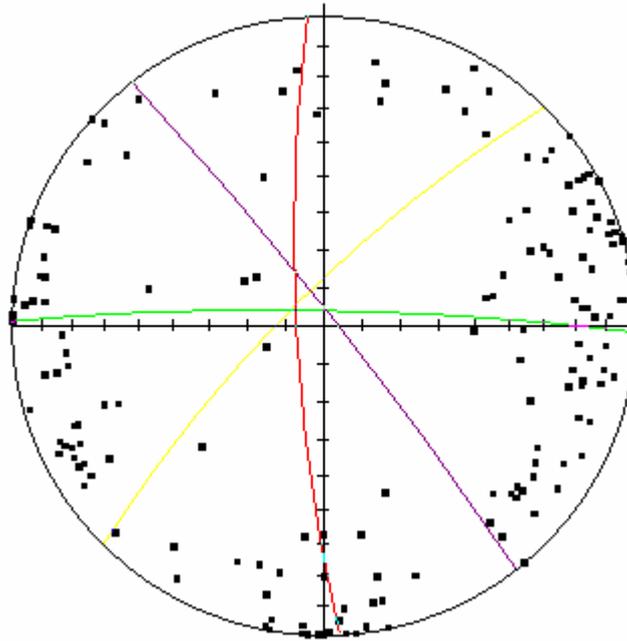


Figure 54: Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site « St Rome de Dolan » (N=161). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-Violet, J4-jaune)

Du point de vue de l'analyse cinématique des failles striées mesurées dans le secteur, on a pu déterminer le tenseur : $\sigma_1=17.8/266.7$, $\sigma_2=31.1/165.5$ et $\sigma_3=53.1/22.1$ (Figure 55).

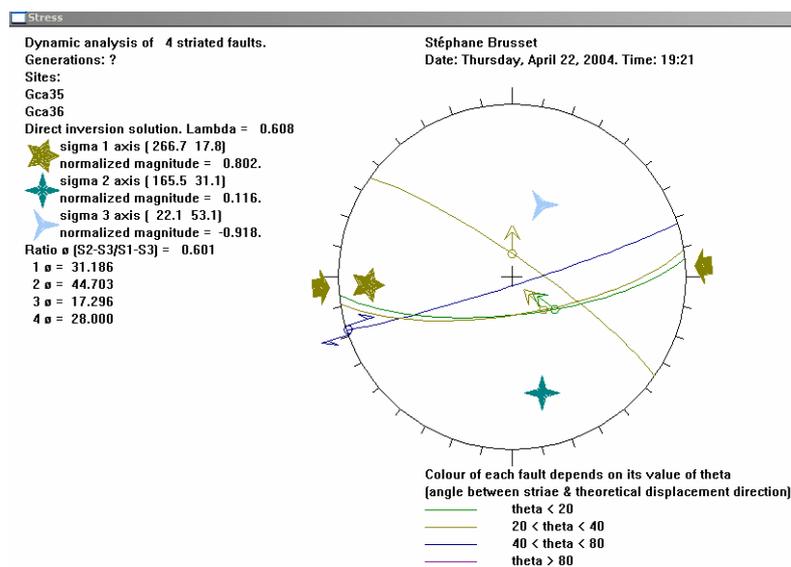


Figure 55 : Résolution du tenseur des contraintes

1.2.7 Site « Sermeillets »

Les mesures ont été effectuées dans les formations carbonatées du Bathonien et du Bajocien. (afflrmt GCau8 et 19, N=82).

J1 (N=33 ; plan moyen 89/257 ; 29.2%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 56) ;

J2 (N=24 ; plan moyen 86/004 ; 40%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 57) ;

J3 (N=14 ; plan moyen 90/319 ; 17.1%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 58) ;

J4 (N=11 ; plan moyen 75/040 ; 13.4%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 59).

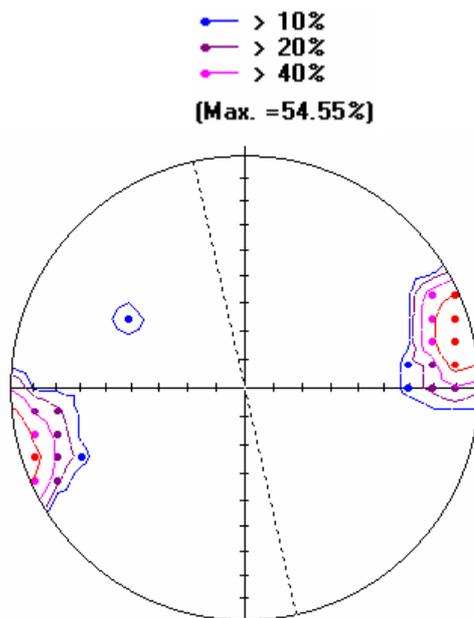


Figure 56 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=33 ; plan moyen 89/257)

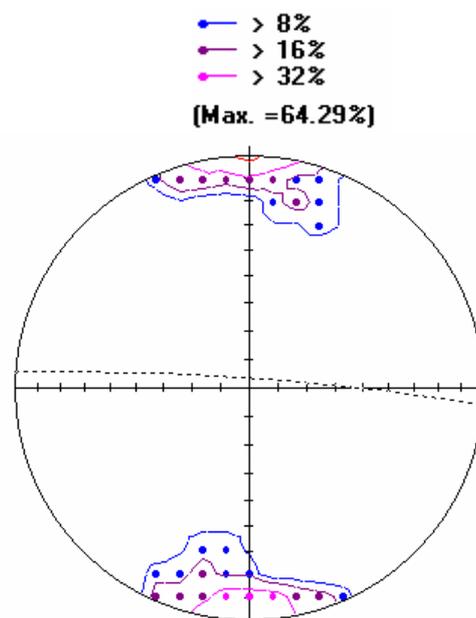
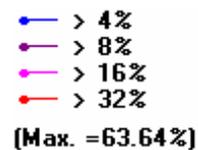
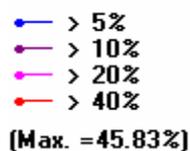


Figure 57 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=24 ; plan moyen 86/004)



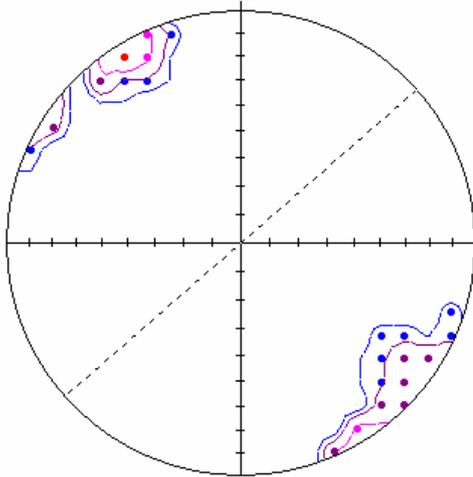


Figure 58 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=14 ; plan moyen 90/319)

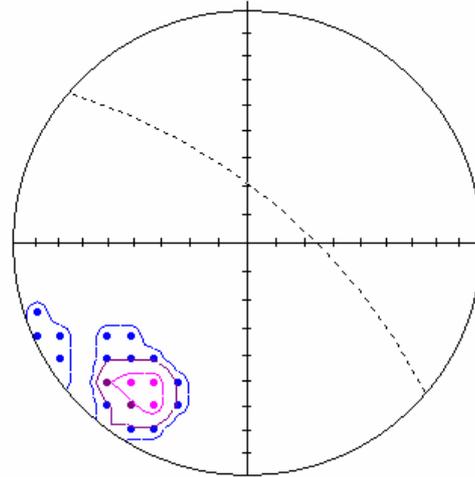


Figure 59 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=11 ; plan moyen 75/040)

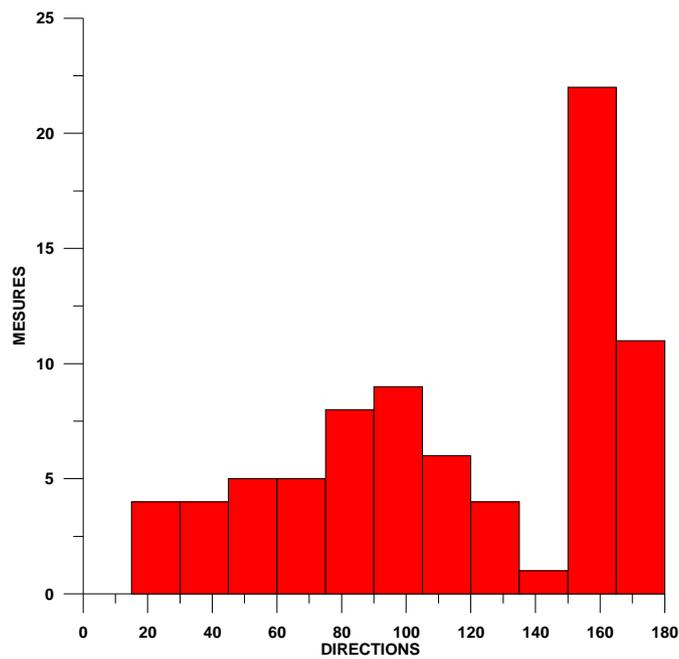


Figure 60: Histogramme des directions de fractures du site "Sermeillets"

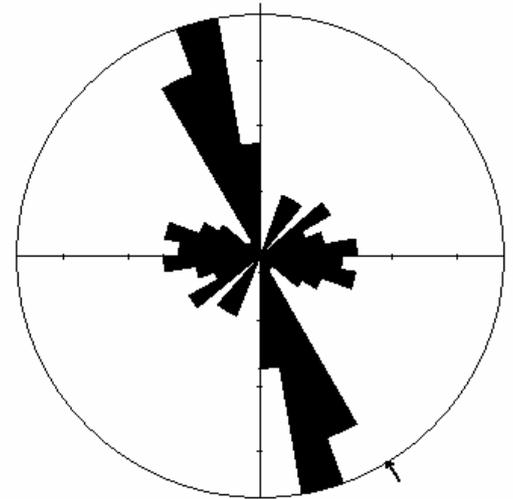
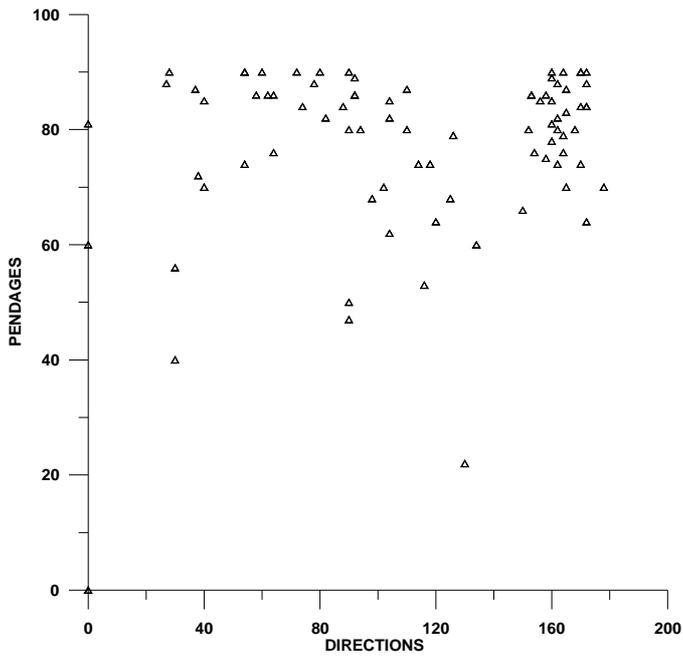


Figure 62 : Rose des azimuts du pendages des fractures

Figure 61 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

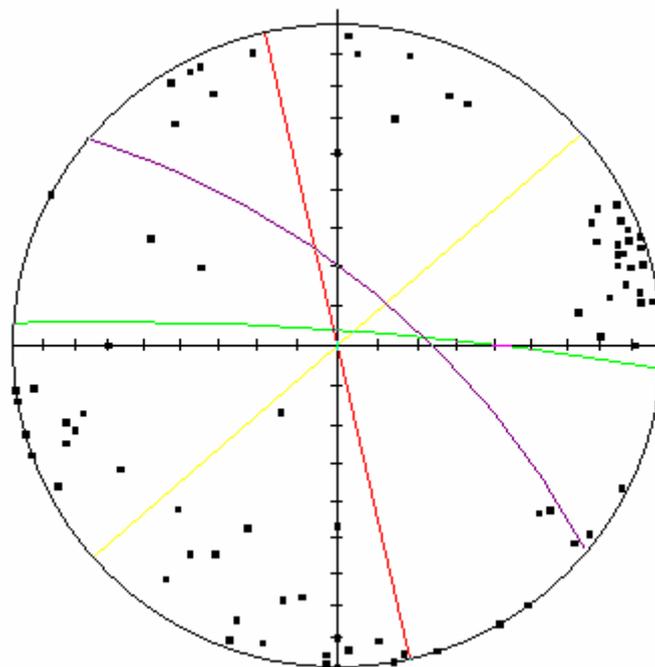


Figure 63: Digramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "vallée du Tarn" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-Violet, J4-jaune)

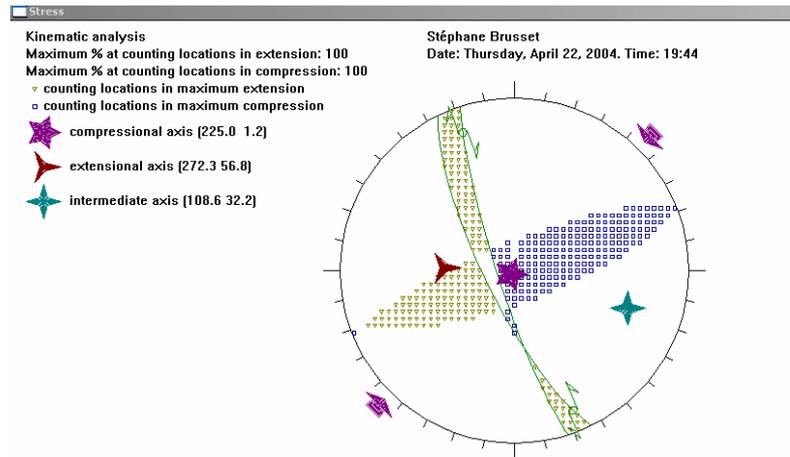


Figure 64 : Résolution du tenseur des contraintes pour le site de "Sermeillets"- Méthode du dièdre droit

La résolution du tenseurs des contraintes donne $\sigma_1=1.2/225$; $\sigma_2=32.2/108$ et $\sigma_3=55/272$.

1.2.8 Site « D67 »

Les mesures ont été effectuées dans les formations carbonatées du Kimméridgien. (afflrmt GCau1-2 et 7, N=52).

J1 (N=17 ; plan moyen 89/266 ; 32.7%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 65) ;

J2 (N=15 ; plan moyen 73/357, 28.8%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 66) ;

J3 (N=8 ; plan moyen 80/307 ; 15.4%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 67) ;

J4 (N=11 ; plan moyen 86/052 ; 20.4%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 68).

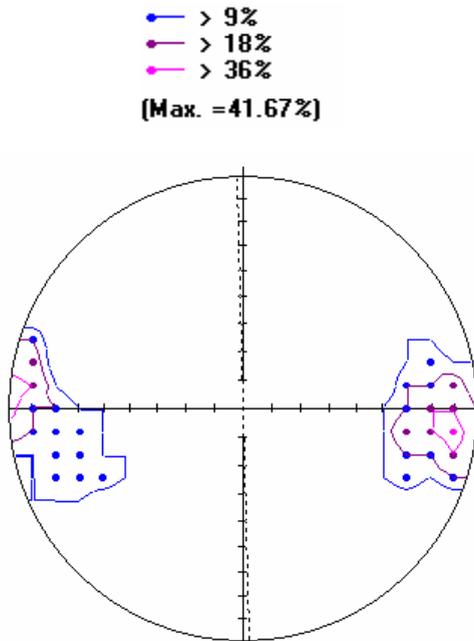


Figure 65 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=17 ; plan moyen 89/266)

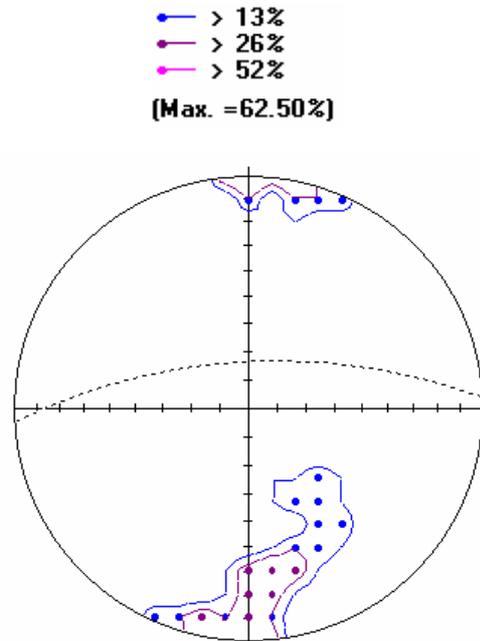


Figure 66 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=15 ; plan moyen 73/357)

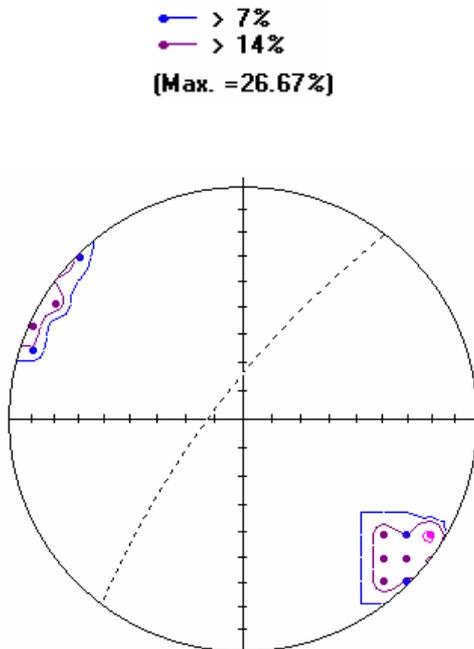


Figure 67 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=8 ; plan moyen 80/307)

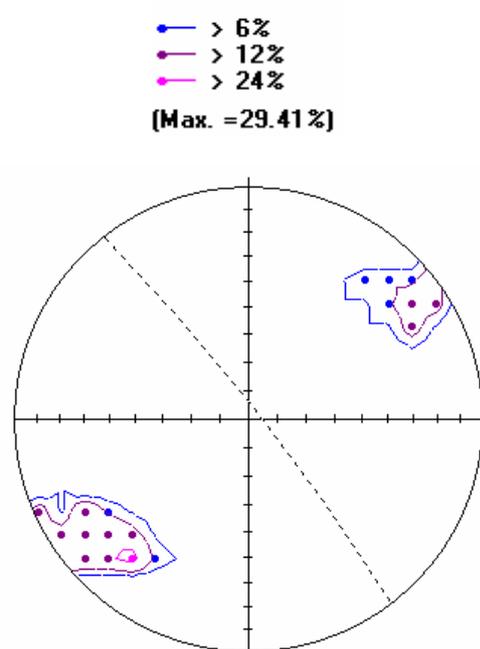


Figure 68 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=12 ; plan moyen 86/052)

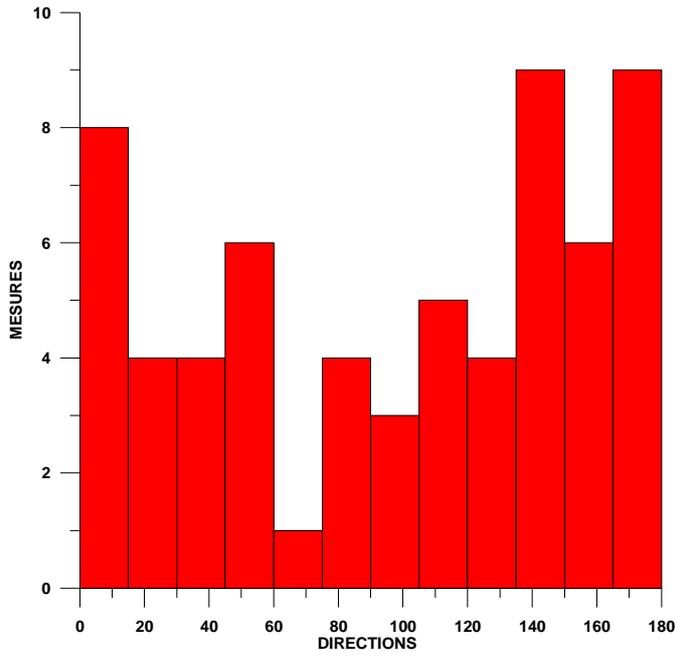


Figure 69: Histogramme des directions des joints du site "D67"

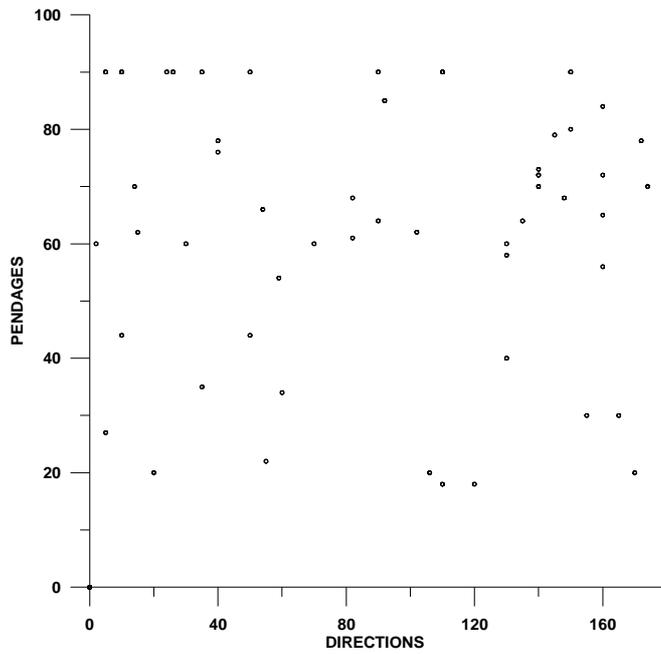


Figure 70 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

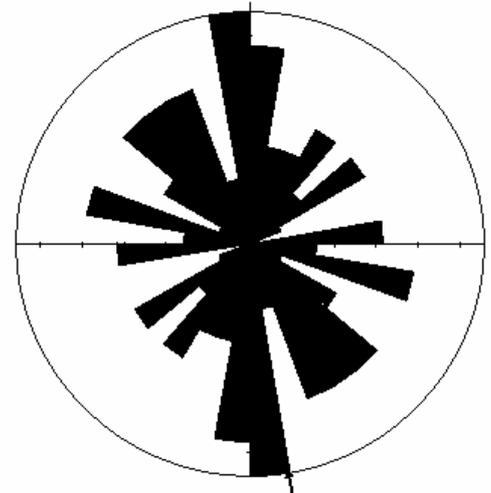


Figure 71 : Rose des azimuts du pendages des factures

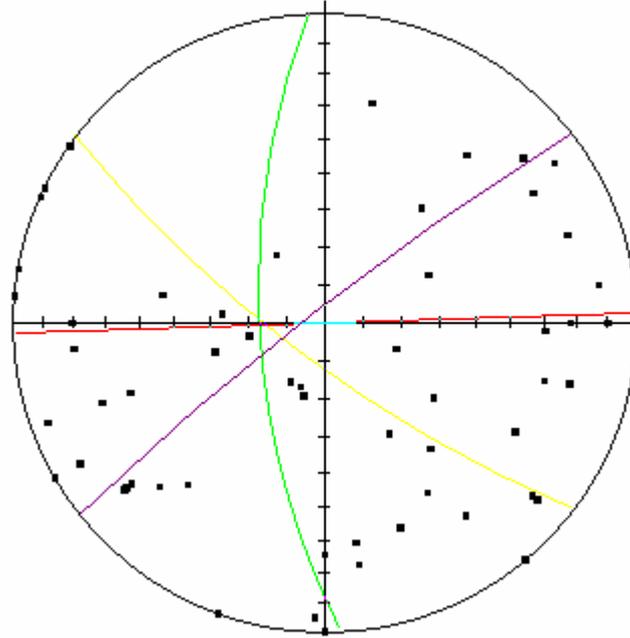


Figure 72: Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "D67" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune).

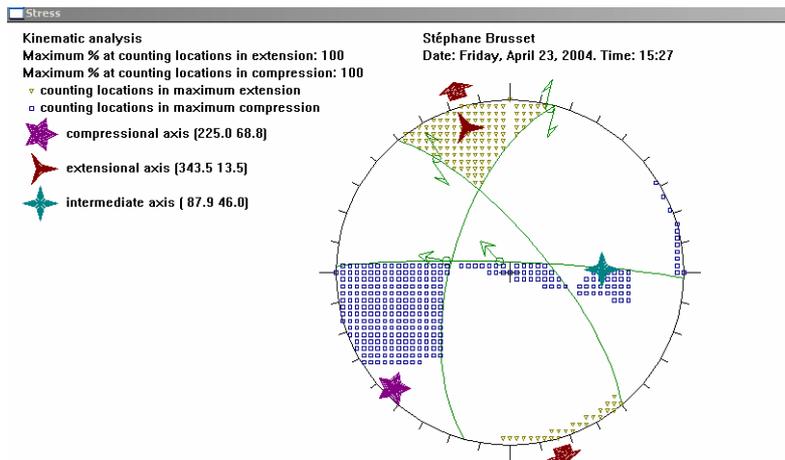


Figure 73: Résolution du tenseurs des contraintes du site "D67"-Méthode du dièdre droit

1.2.9 Site « RN9 »

Les mesures ont pu être ici réalisées le long de la nationale 9 ce qui explique le nombre beaucoup plus important de données (N=249).

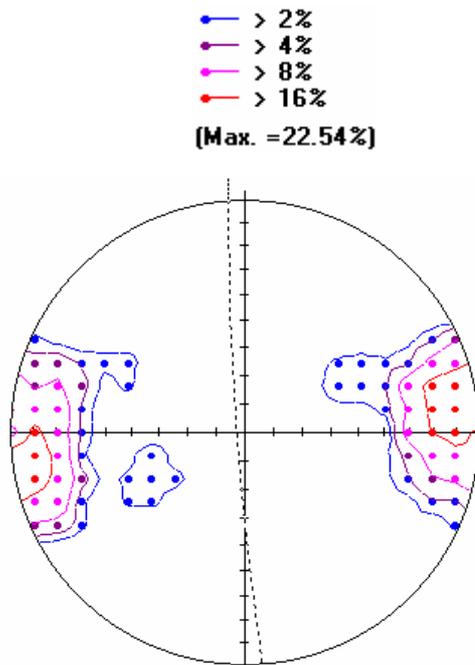


Figure 74 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=80 ; plan moyen 88/266)

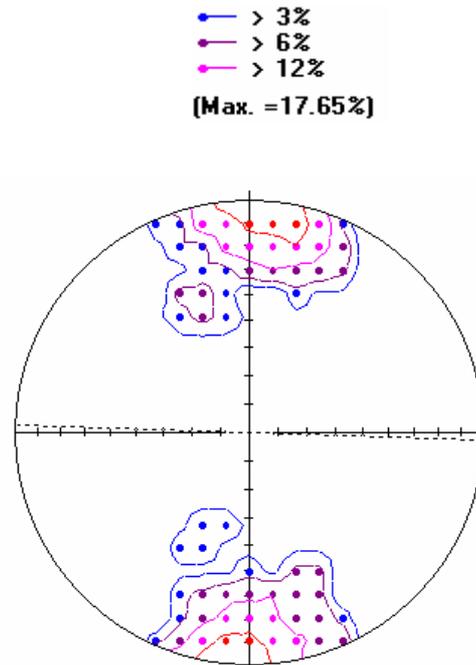


Figure 75 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=64 ; plan moyen 89/182)

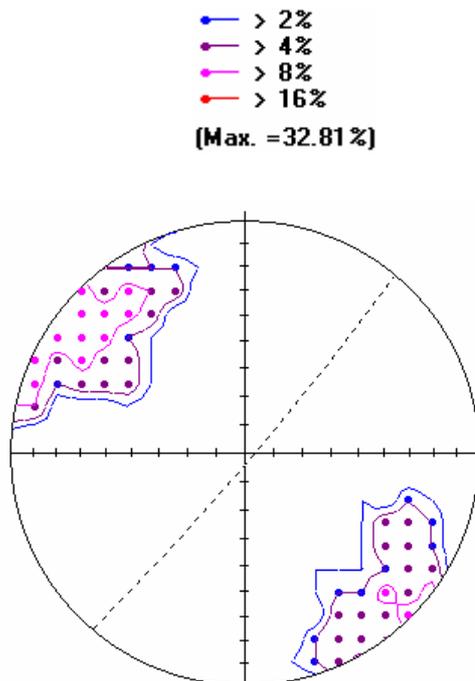


Figure 76 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=34 ; plan moyen 88/130)

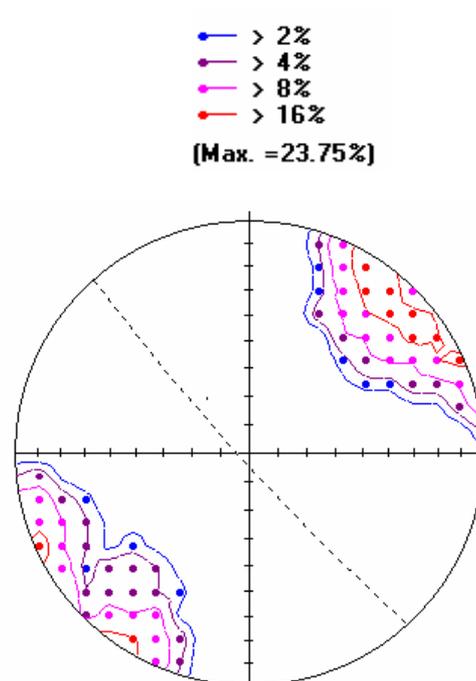


Figure 77 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=71 ; plan moyen 86/228)

- J1 (N=80 ; plan moyen 88/266,32.1%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 74) ;
- J2 (N=64 ; plan moyen 89/182 ; 26.7%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 75) ;
- J3 (N=34 ; plan moyen 88/130 ; 14.2%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 76) ;
- J4 (N=71 ; plan moyen 86/228, 29.6%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 77).

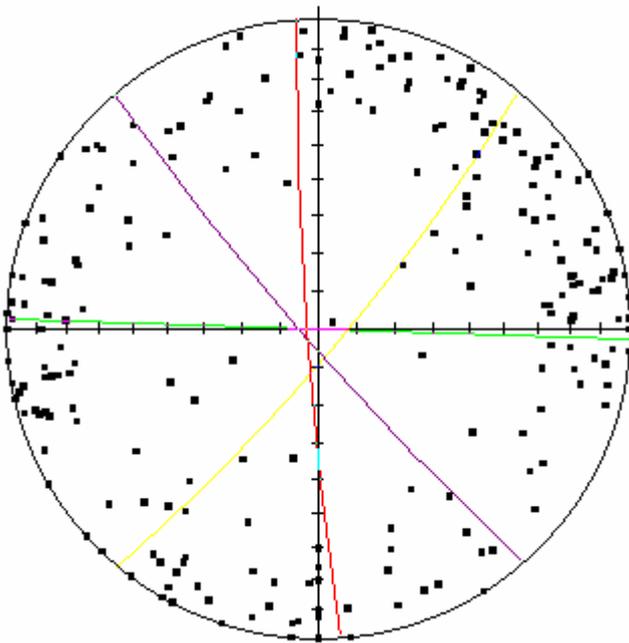


Figure 78: Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site "vallée du Tarn" (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-Violet, J4-jaune)

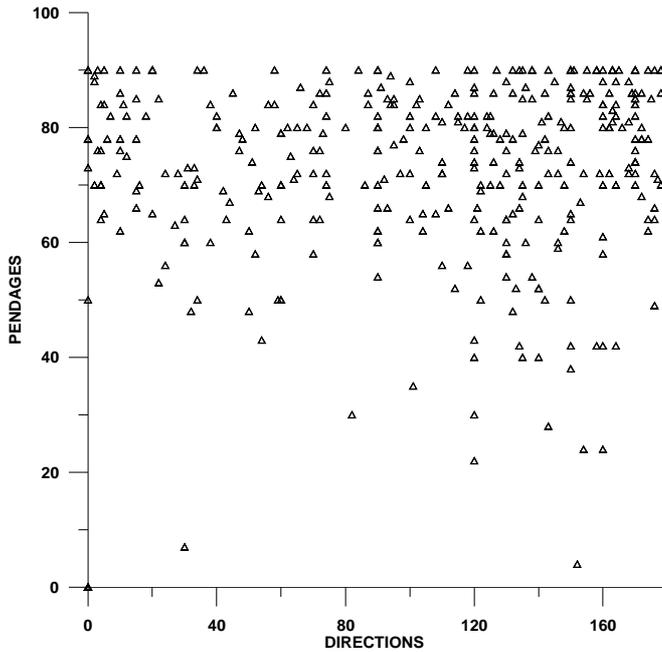


Figure 79 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

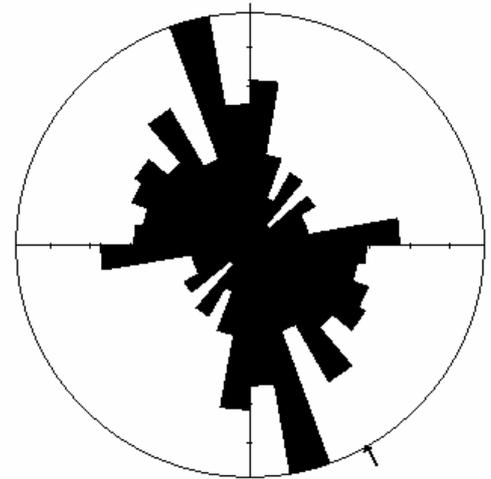


Figure 80 : Rose des azimuts du pendages des factures

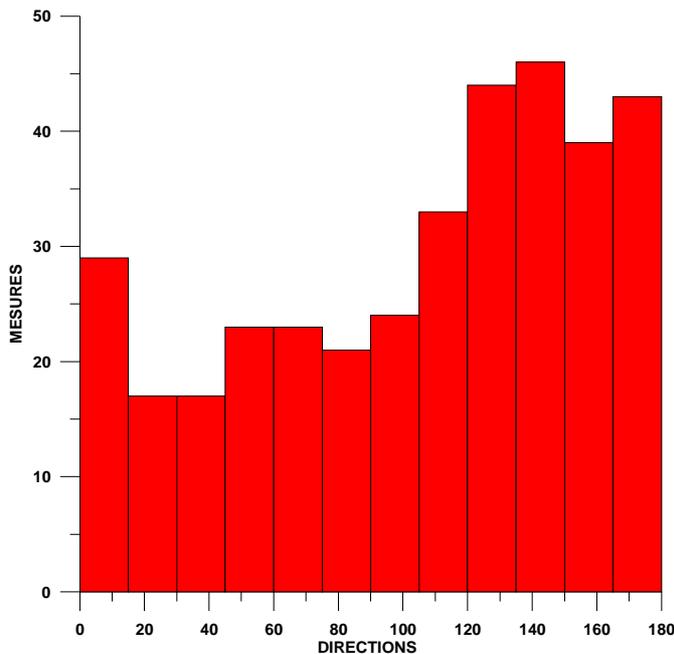


Figure 81 : Histogramme des directions des joints du site « RN9 »

Du point de vue de l'analyse cinématique des failles striées mesurées dans le secteur « RN9 », on a pu déterminer trois tenseurs : $\sigma_1 = 2.8/20.3$, $\sigma_2 = 54.7/286$ et $\sigma_3 = 112.3/35.2$ (Figure 82) - $\sigma_1 = 51.6/287.6$, $\sigma_2 = 33.2/142.1$ $\sigma_3 = 17.2/40.4$ (Figure 83) - $\sigma_1 = 27.8/49.1$, $\sigma_2 = 60.5/207.9$ et $\sigma_3 = 9.1/314.3$.

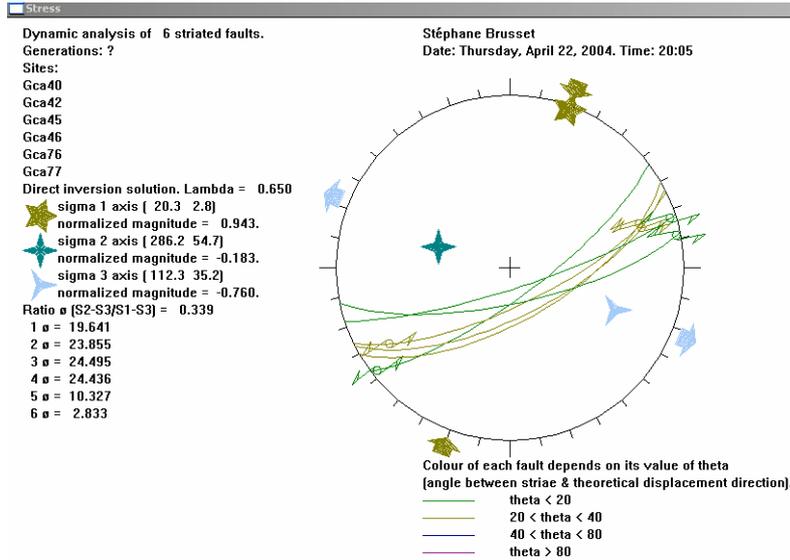


Figure 82 : Résolution d'un tenseur des contraintes pour des mesures effectuées sur le site RN9.

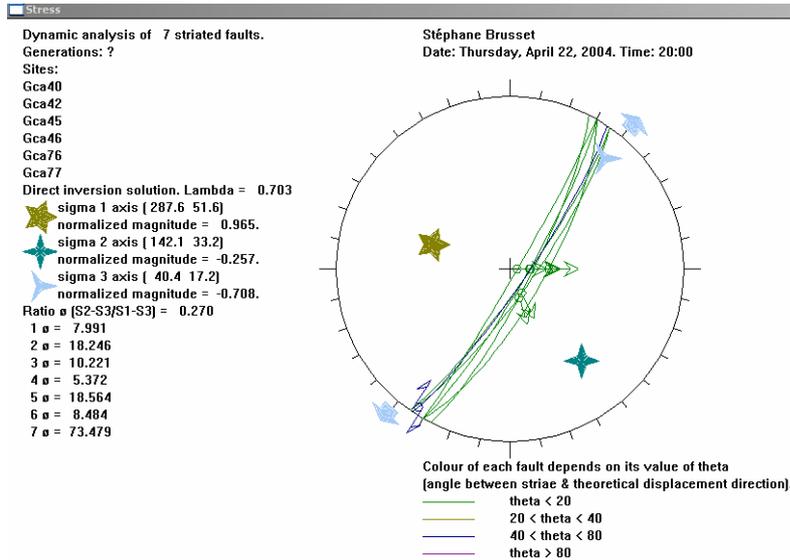


Figure 83: Résolution d'un tenseur des contraintes pour des mesures effectuées sur le site RN9.

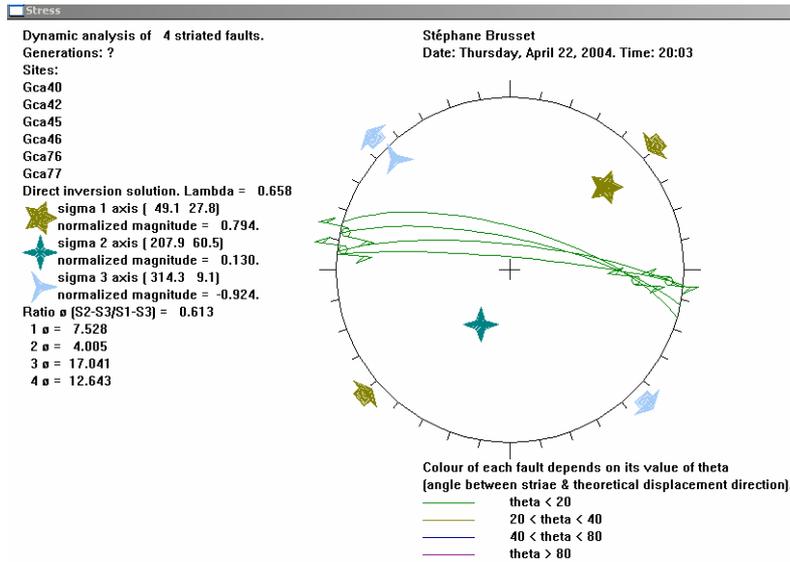


Figure 84 : Résolution d'un tenseur des contraintes pour des mesures effectuées sur le site RN9.

1.2.10 Site Nord Campagnac

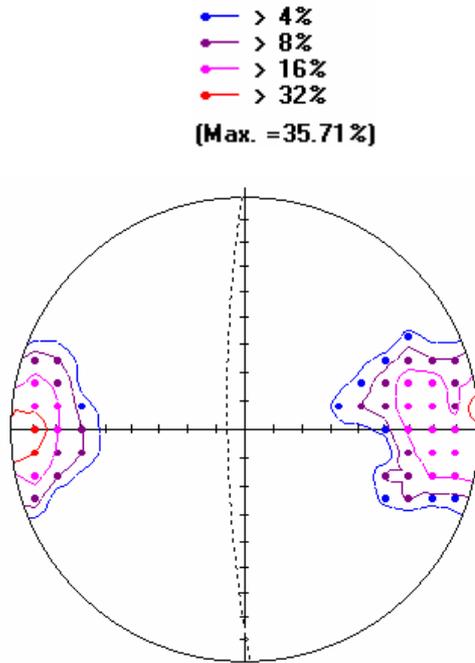


Figure 85 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J1 (N=48 ; plan moyen 84/262)

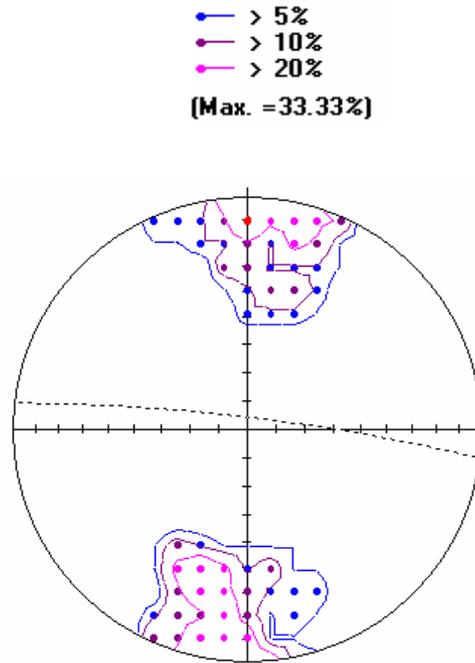


Figure 86 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J2 (N=36 ; plan moyen 85/007)

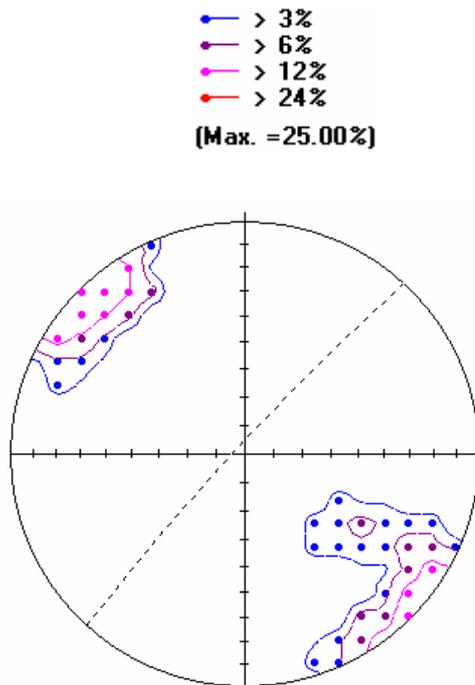


Figure 87 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J3 (N=34 ; plan moyen 87/313)

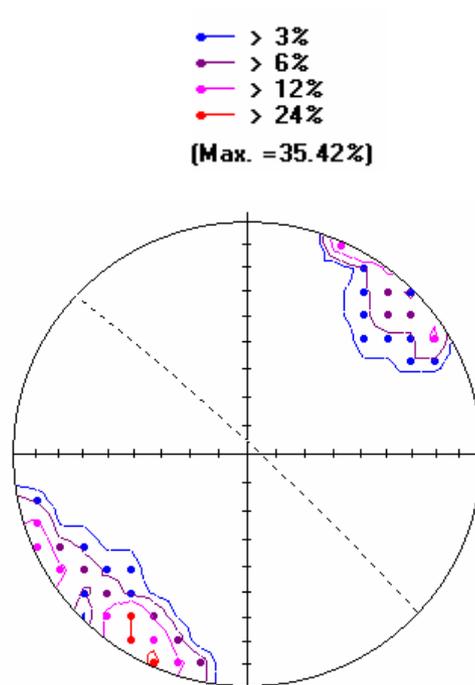


Figure 88 : Diagramme de densité des pôles de la famille des joints J4 (N=28 ; plan moyen 87/043)

J1 (N=48 ; plan moyen 84/262 ; 32.9%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 85) ;

J2 (N=36 ; plan moyen 85/007 ; 24.7%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 86) ;

J3 (N=34 ; plan moyen 87/313 ; 23.3%) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 87) ;

J4 (N=28 ; plan moyen 87/043 ; 19.2) représenté en diagramme de densité des pôles (Figure 88).

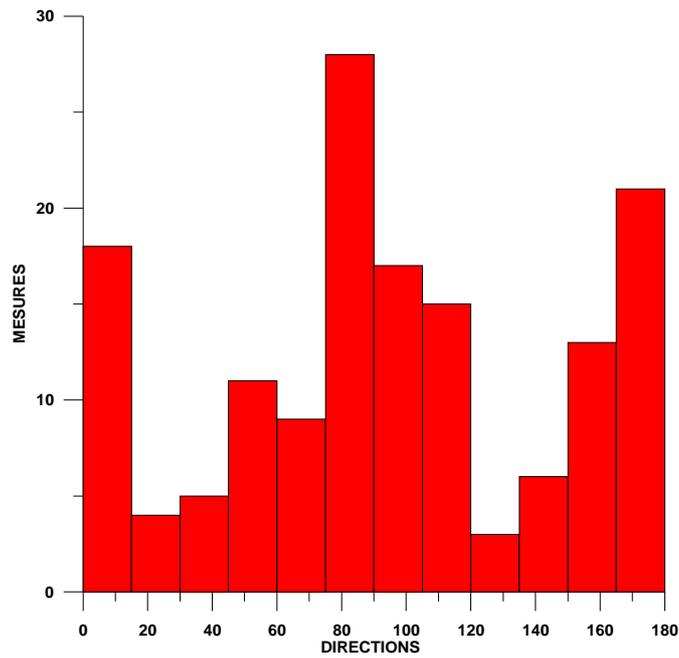


Figure 89 : Histogramme des directions de joints pour le site "Nord-Campagnac"

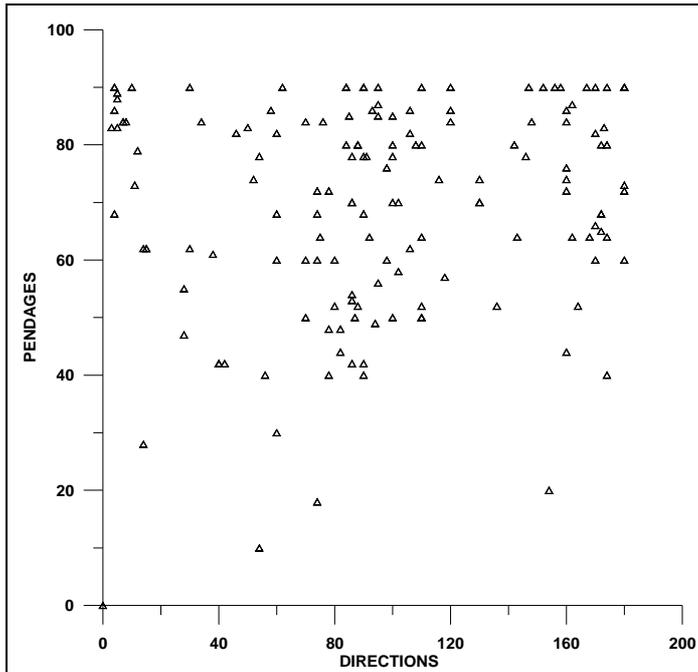


Figure 90 : Diagramme pendages vs directions montrant la valeur globalement forte des pendages

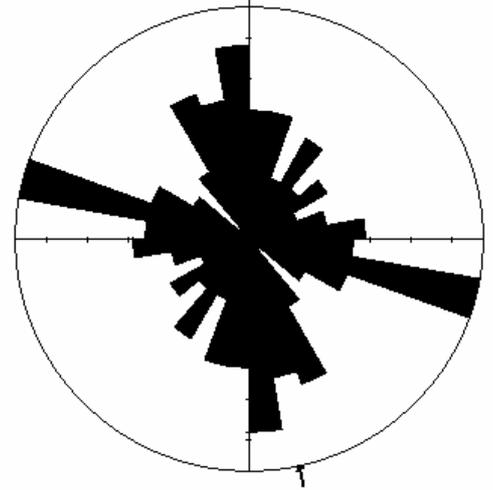


Figure 91 : Rose des azimuts du pendages des factures

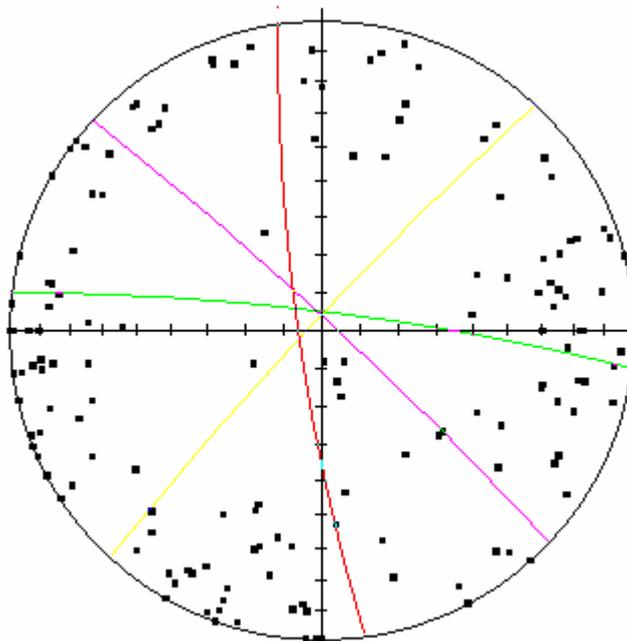


Figure 92: Diagramme synthétique de Schmidt de l'ensemble des données du site " Site Nord Campagnac " (N=25). Les plans moyens des familles de joints sont représentés par des couleurs (J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune).

Du point de vue de l'analyse cinématique des failles striées mesurées dans le secteur « Nord-Campagnac », on trouve $\sigma_1 = 3.2/150.1$, $\sigma_2 = 4.3/59.9$ et $\sigma_3 = 84.6/276.7$ (Figure 93).

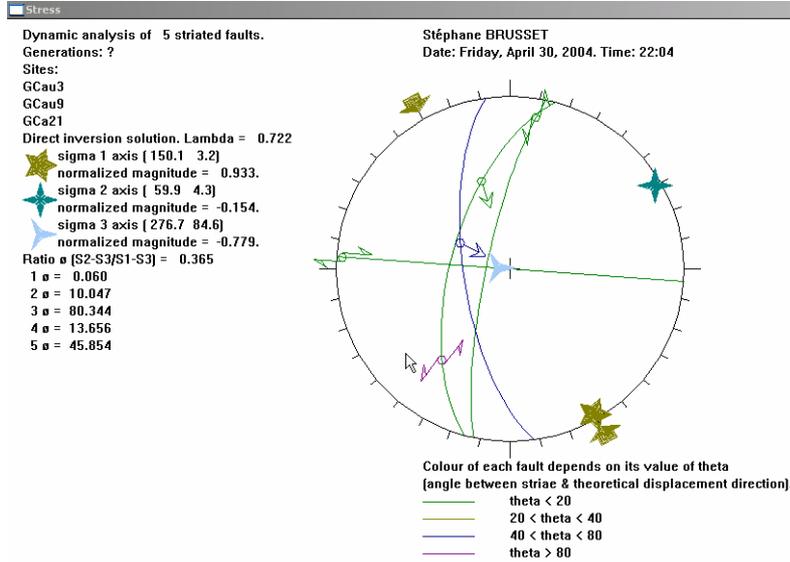
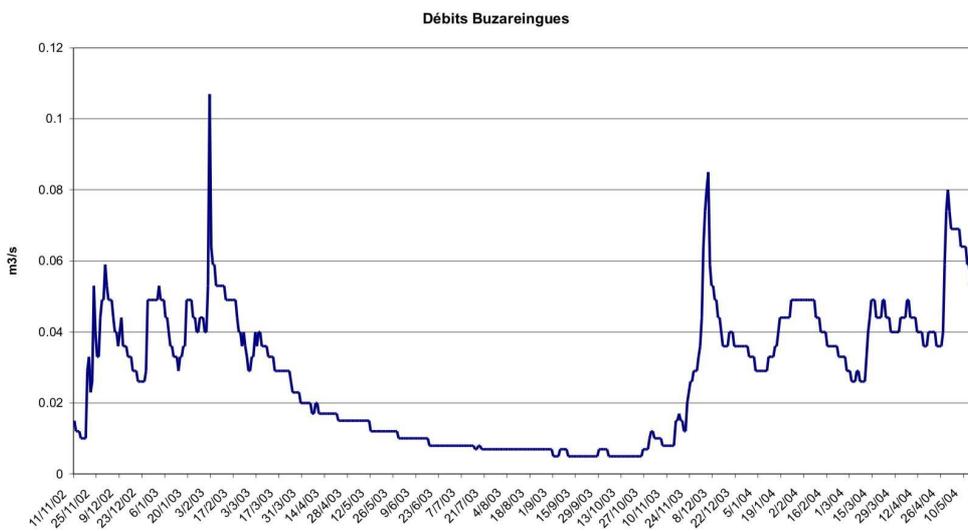
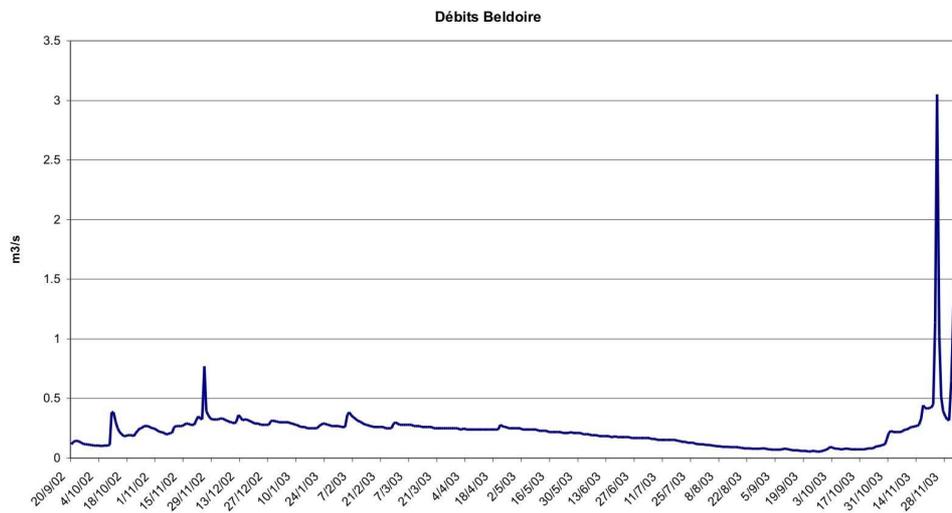
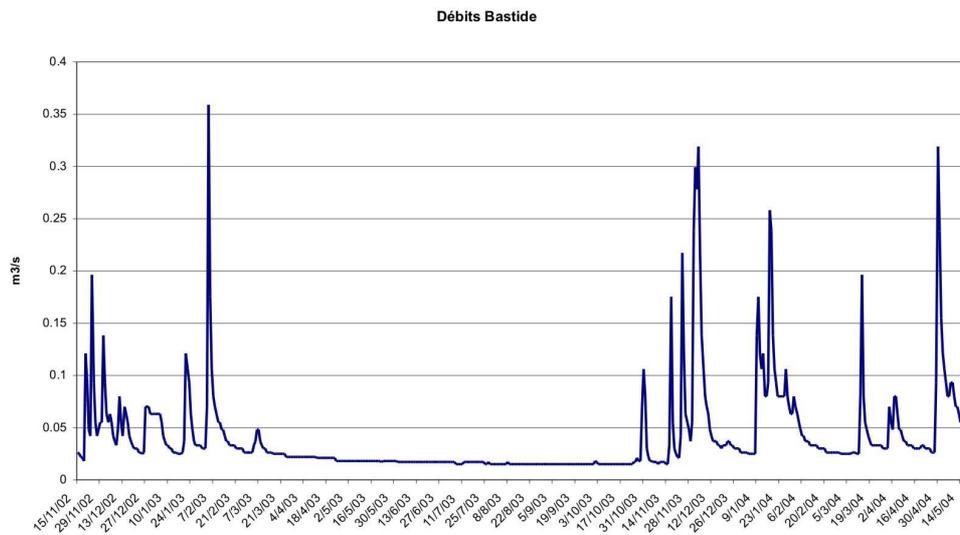


Figure 93 : Résolution du tenseur des contraintes pour le site "Nord-Campagnac"- Méthode de l'inversion directe

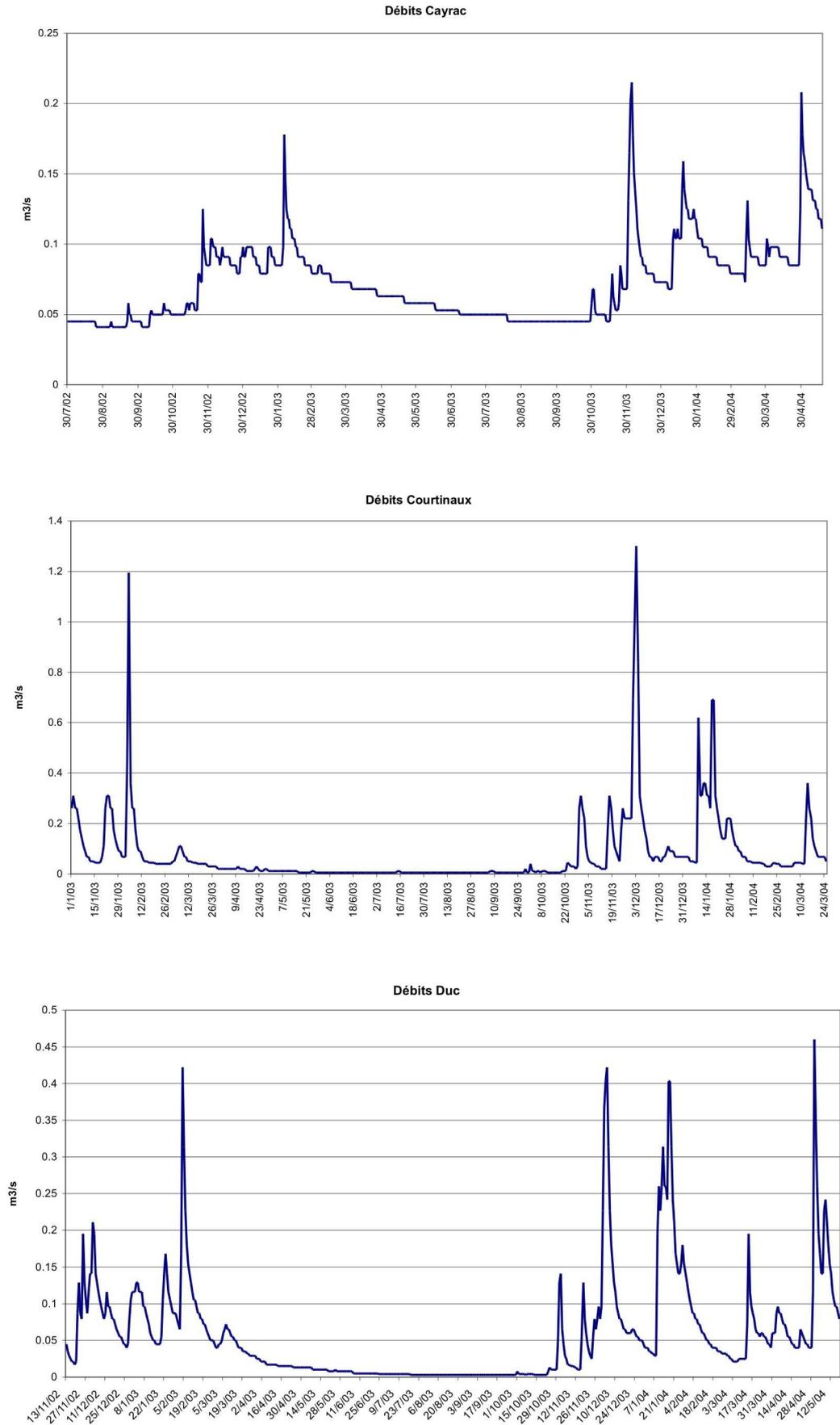
1.3 Hydrodynamique

1.3.1 Hydrogrammes journaliers

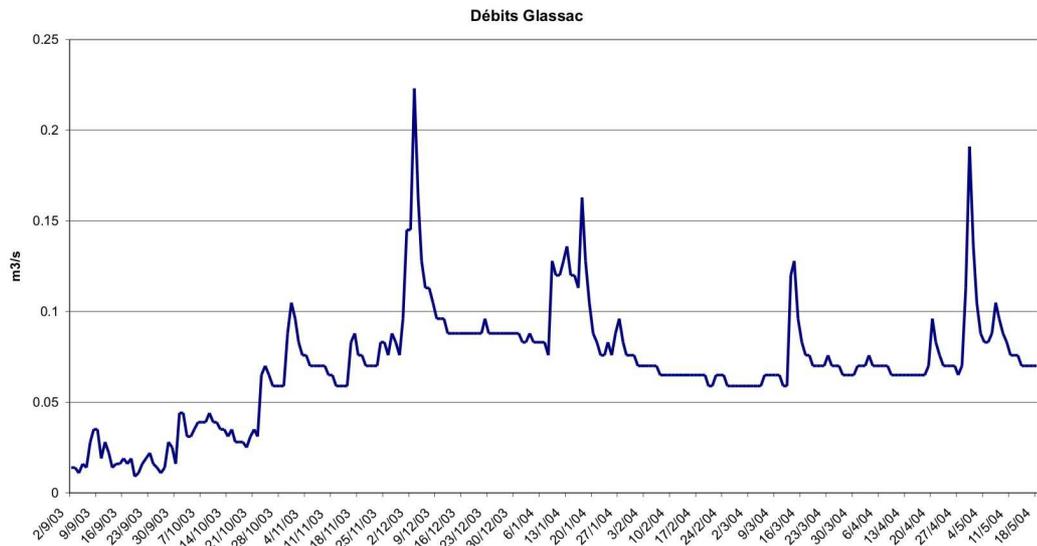
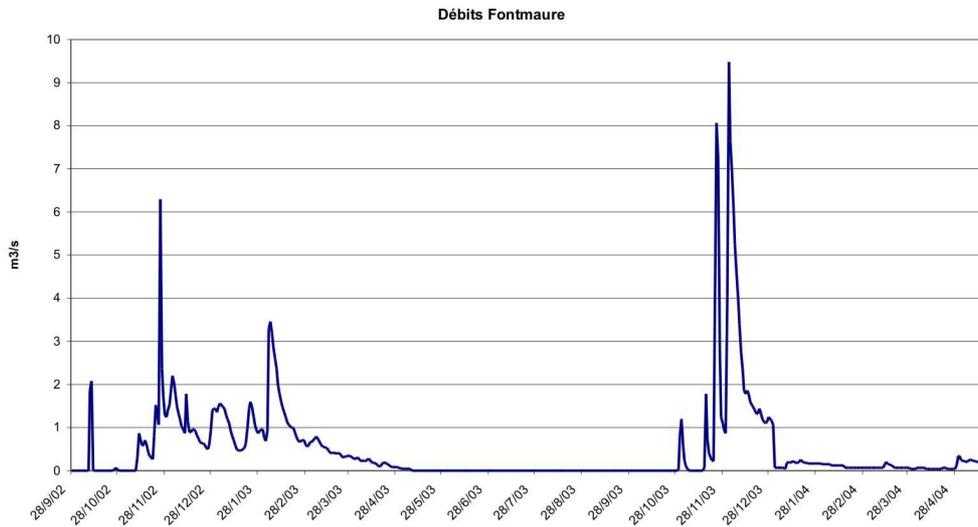
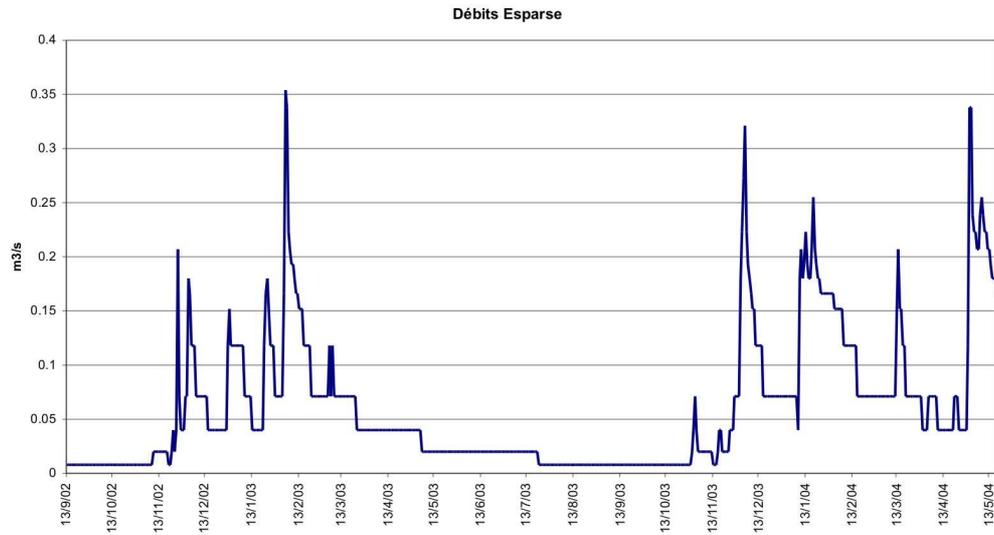
Annexe 1_a - Débits aux sources (données journalières)



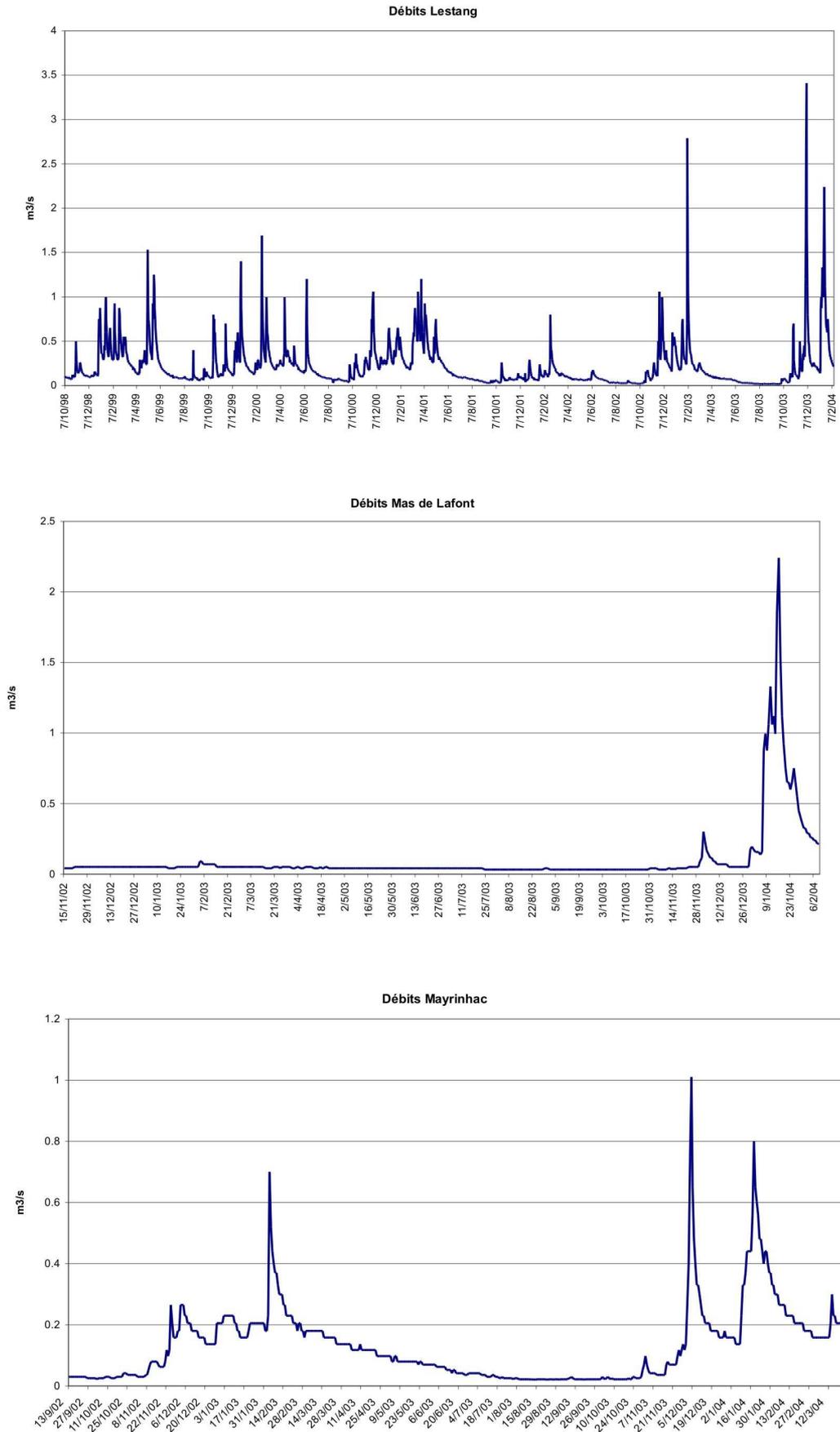
Annexe 1_b - Débits aux sources (données journalières)



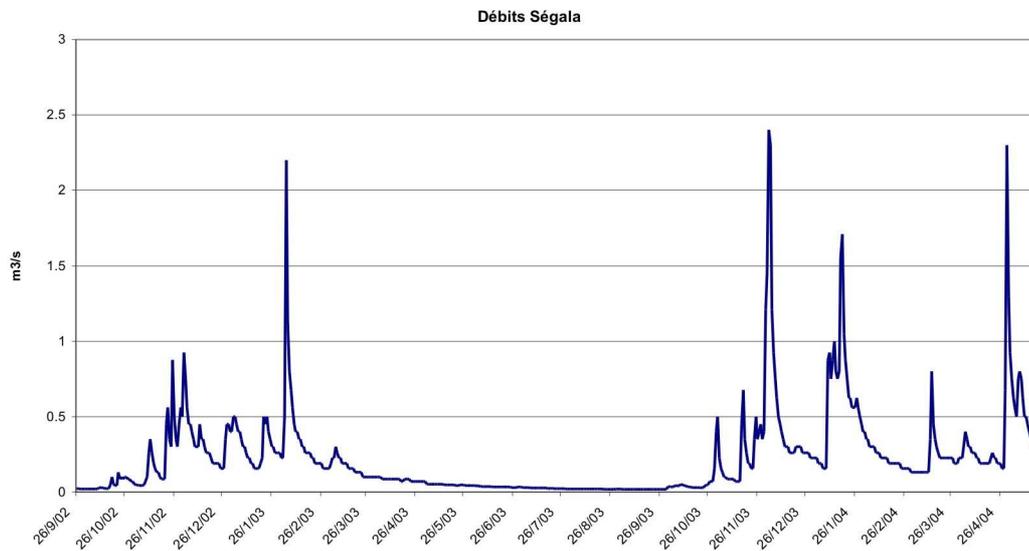
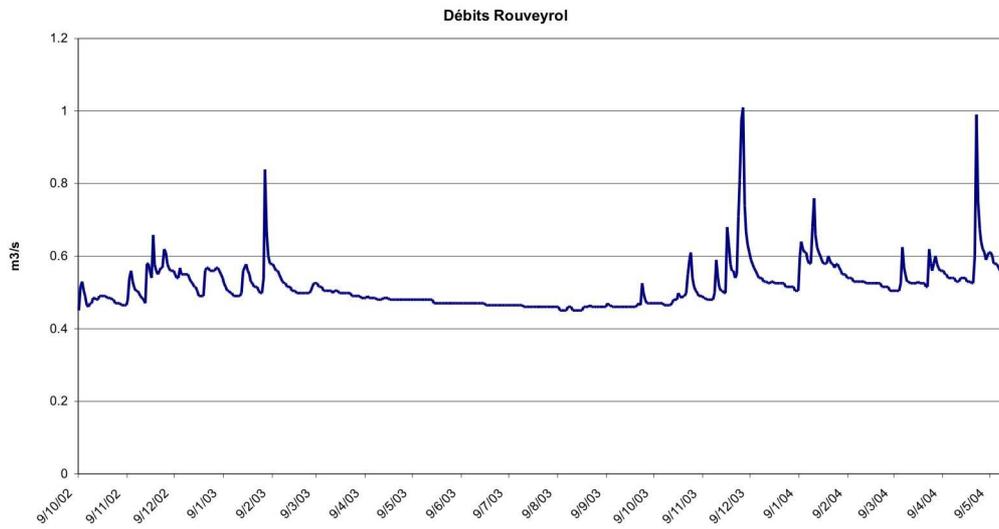
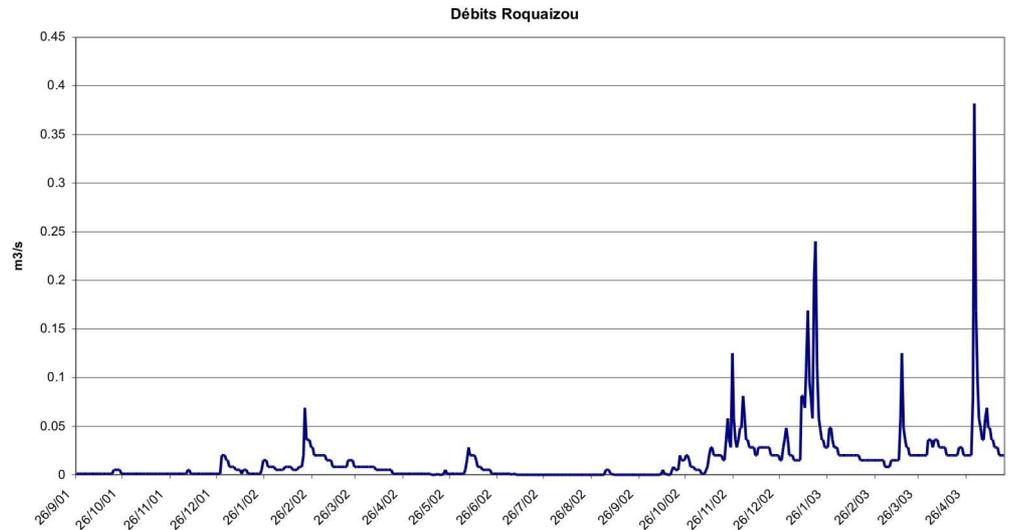
Annexe 1_c - Débits aux sources (données journalières)



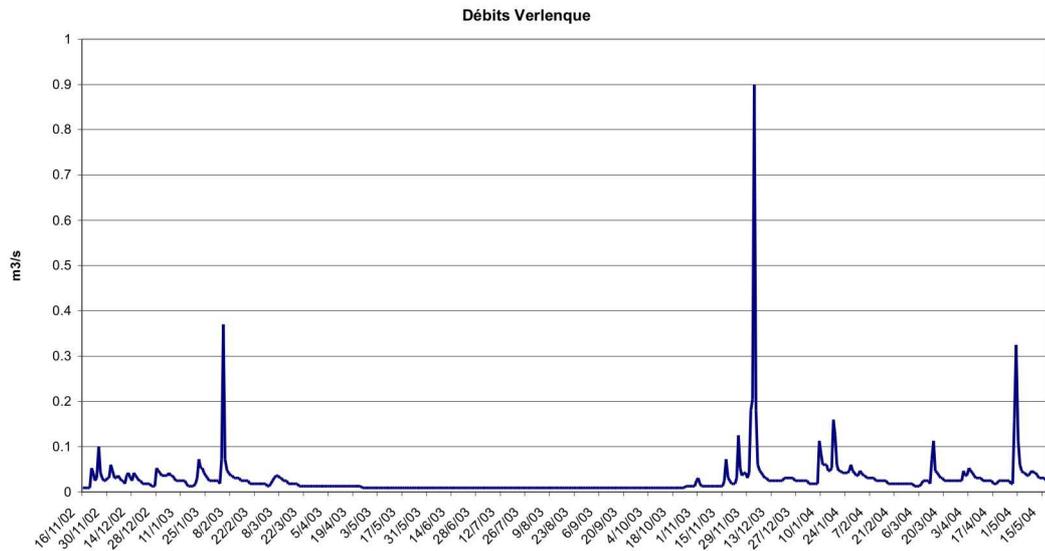
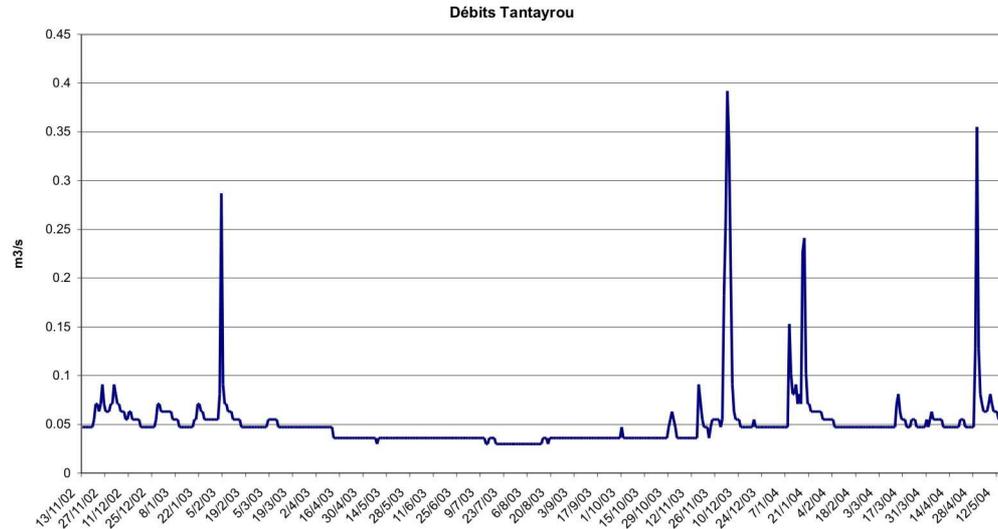
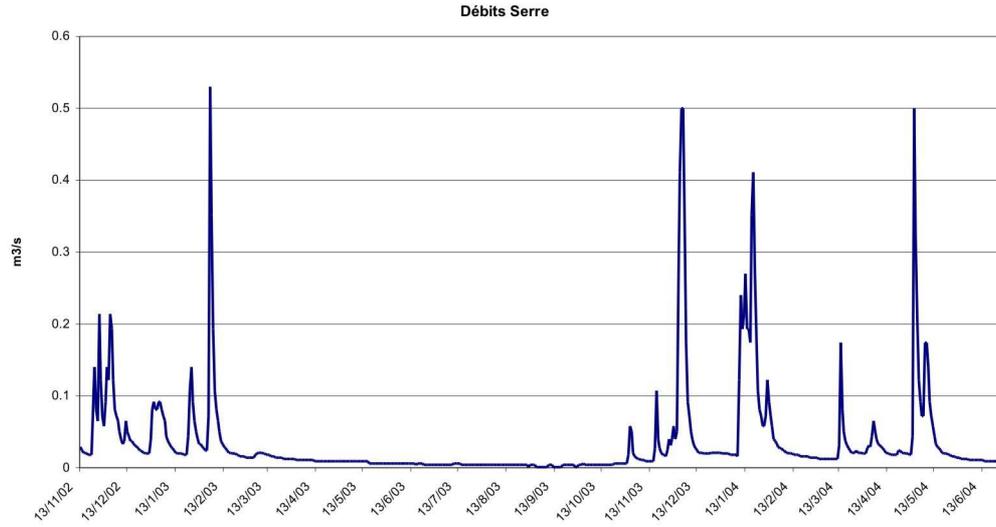
Annexe 1_a - Débits aux sources (données journalières)



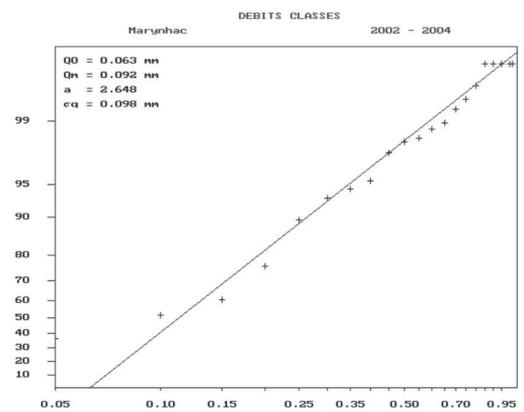
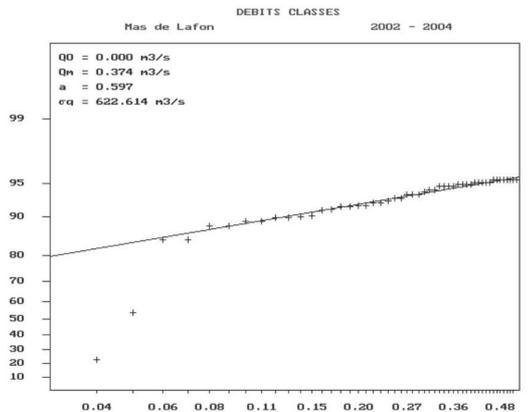
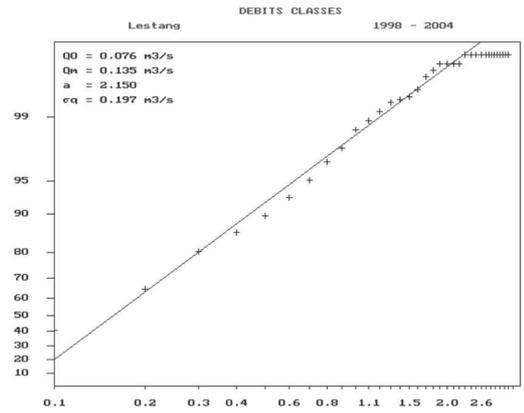
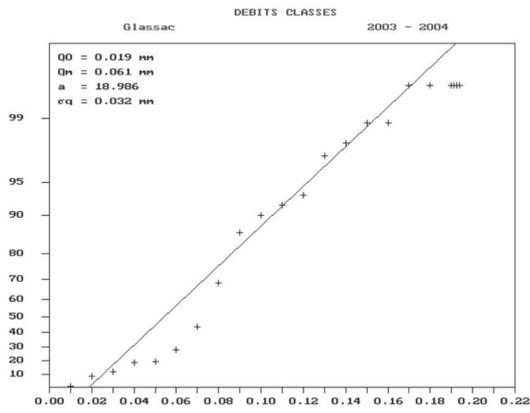
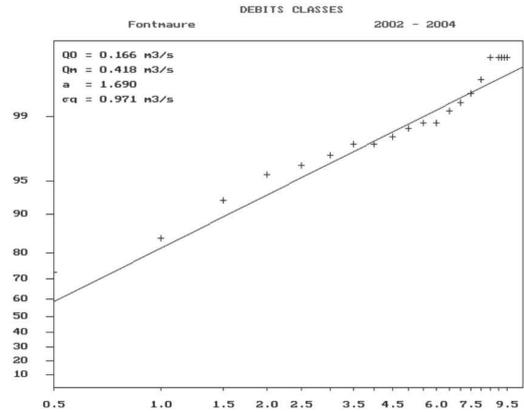
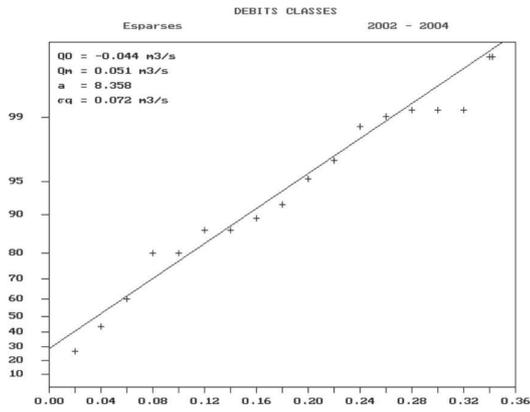
Annexe 1_e - Débits aux sources (données journalières)



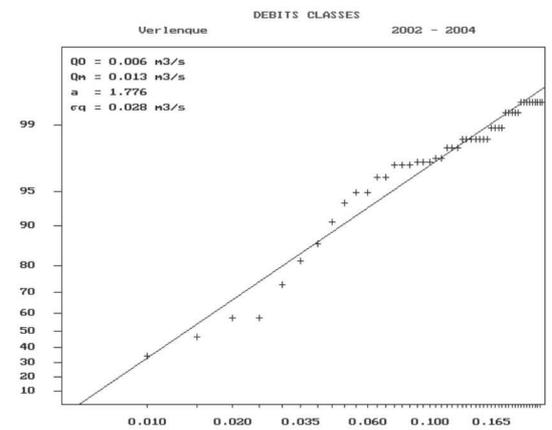
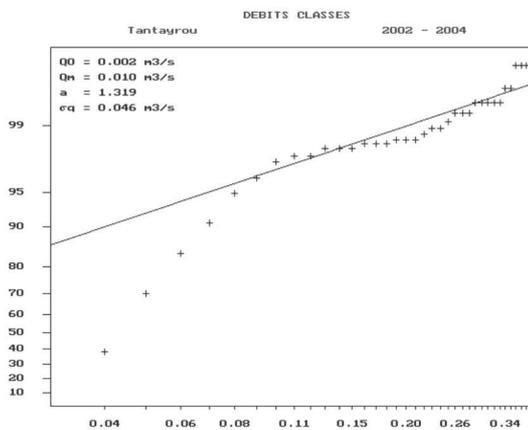
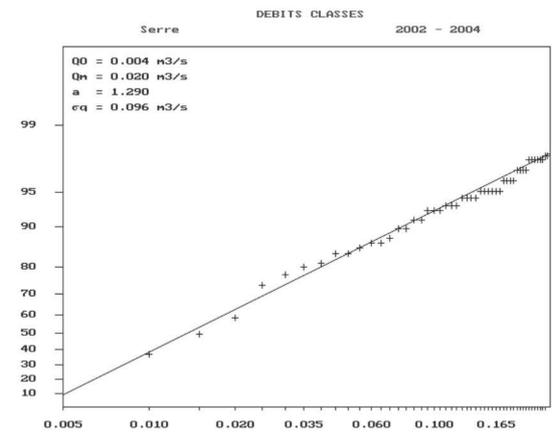
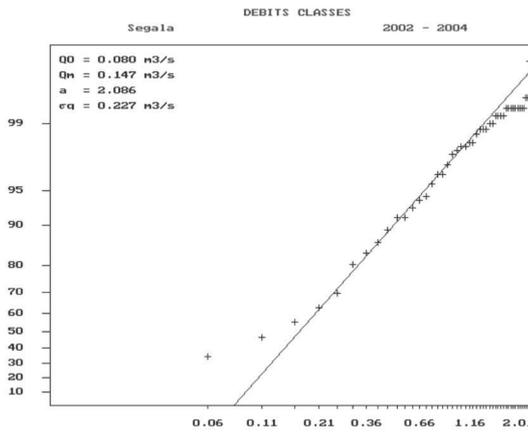
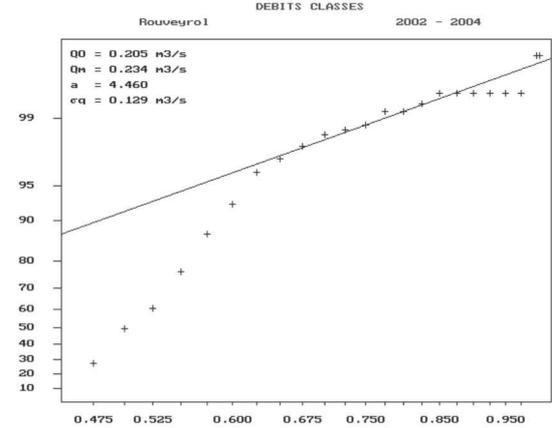
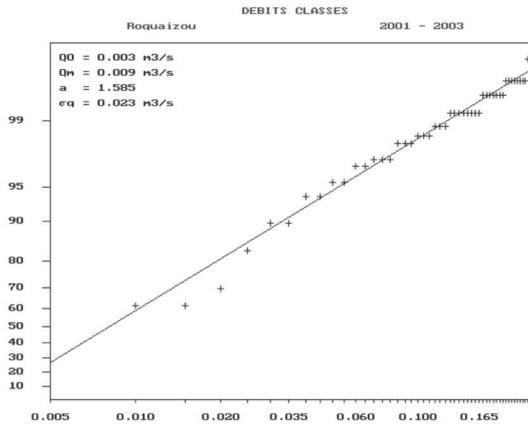
Annexe 1_r - Débits aux sources (données journalières)



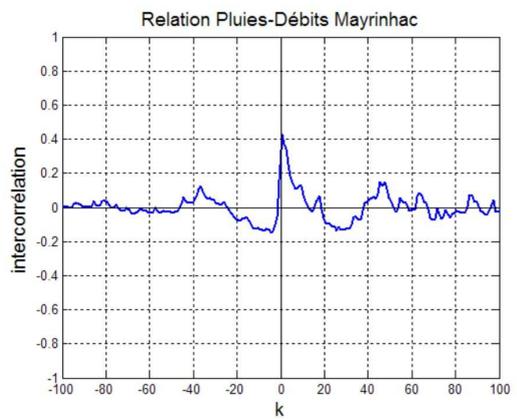
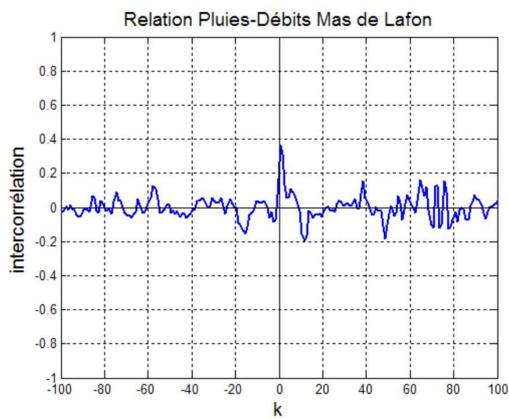
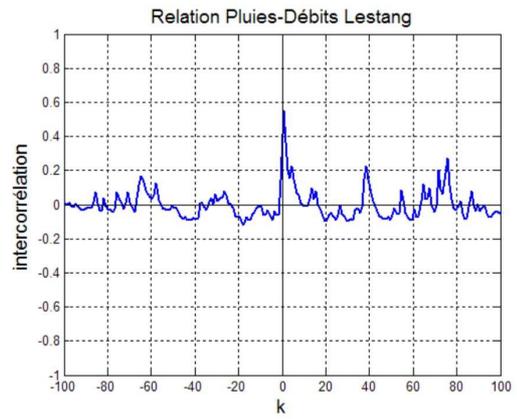
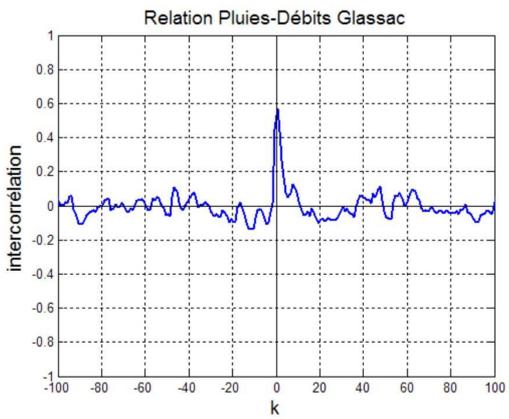
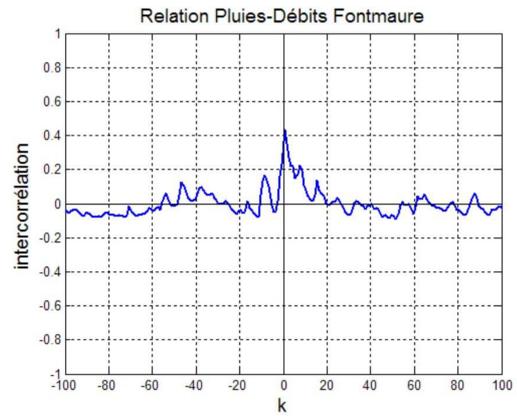
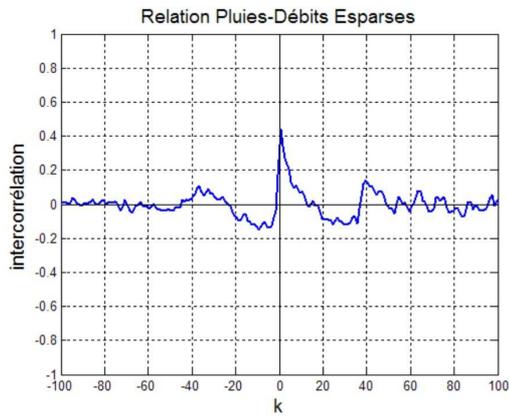
1.3.2 Débits classés (données journalières) Annexe 2_b - Débits Classés (données journalières)



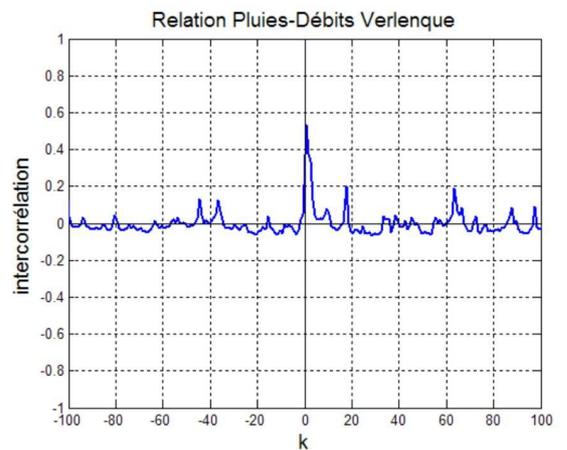
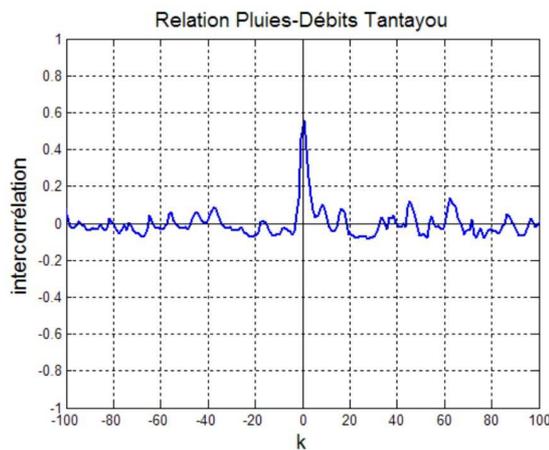
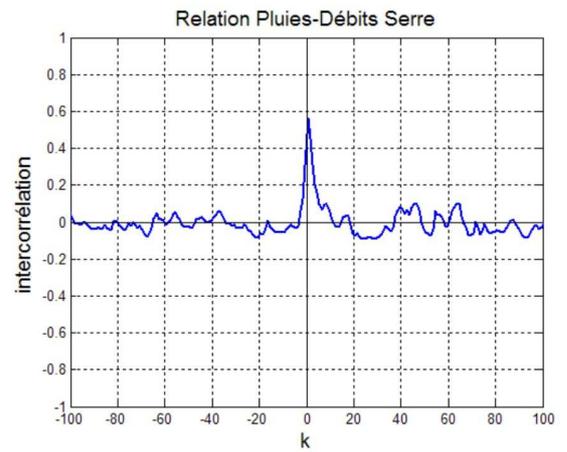
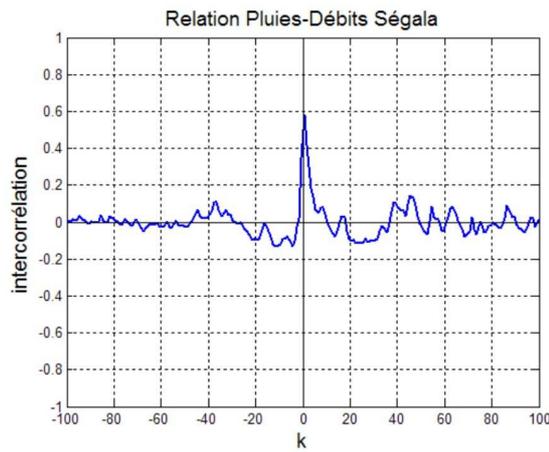
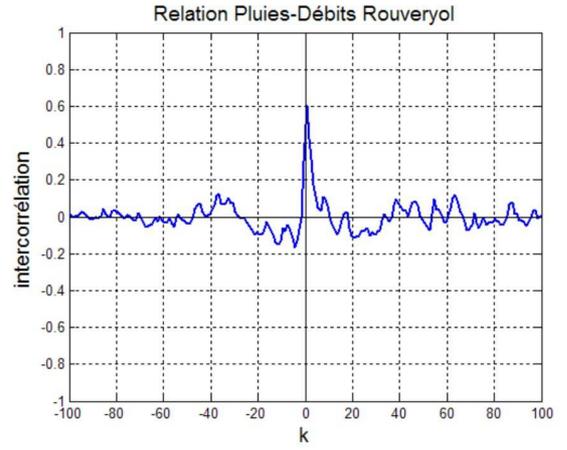
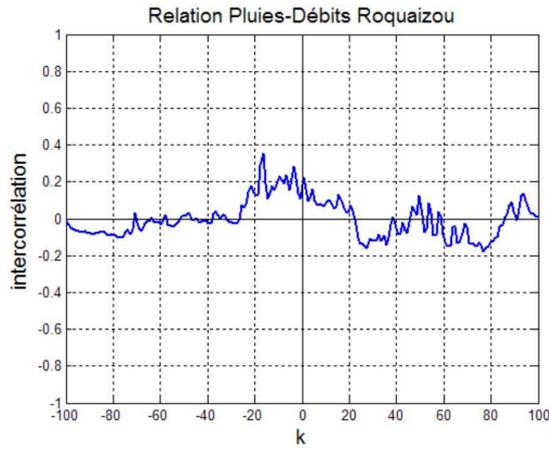
Annexe 2_c - Débits Classés (données journalières)



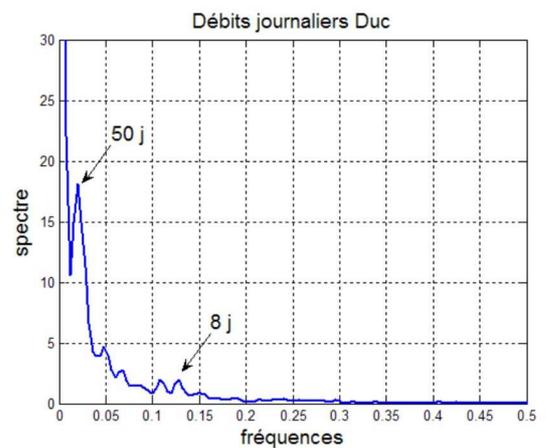
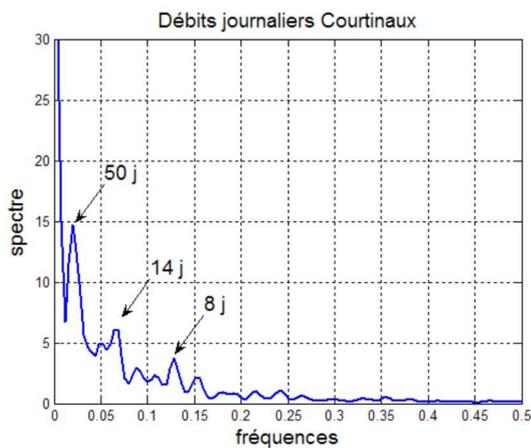
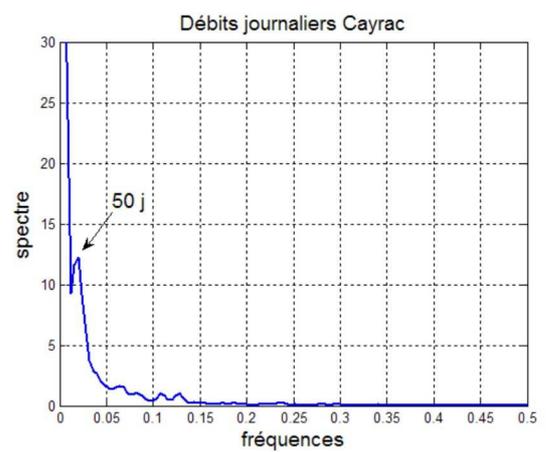
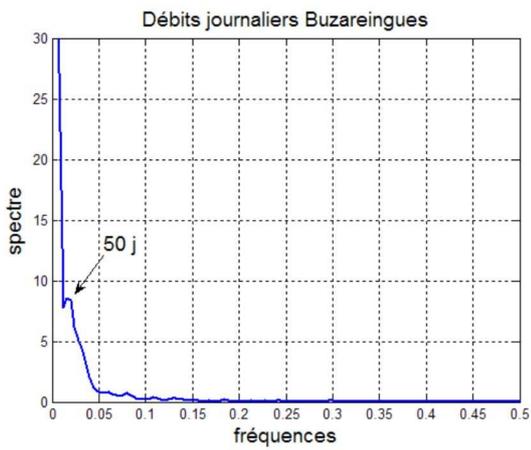
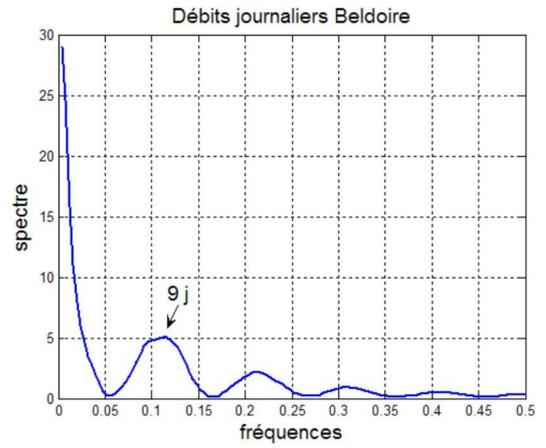
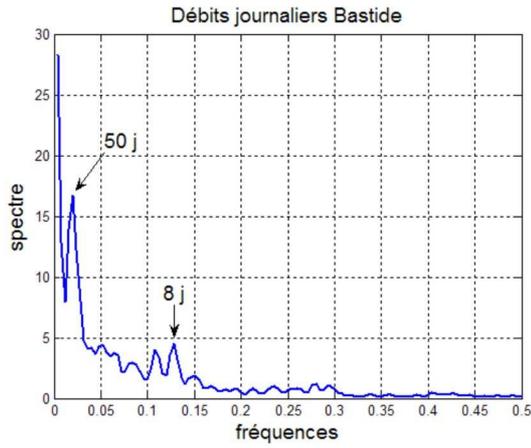
1.3.3 Corrélogrammes croisés et spectres (données journalières)
Annexe 3_b - Corrélogrammes croisés pluies-débits
(données journalières)



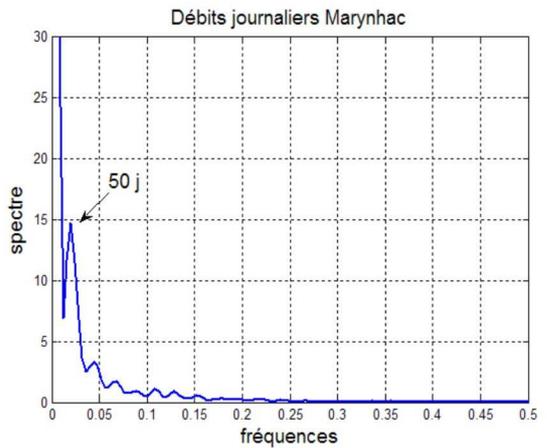
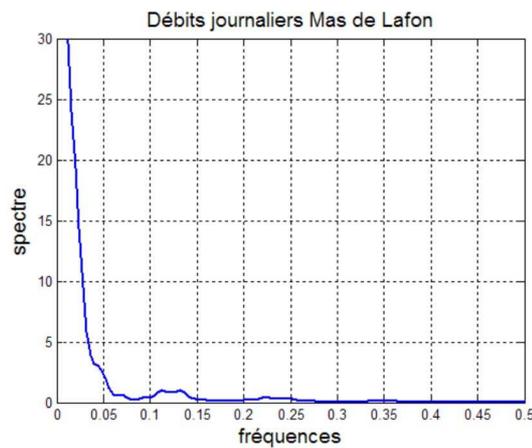
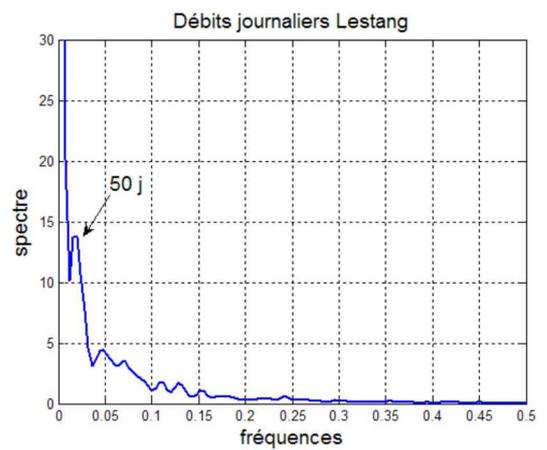
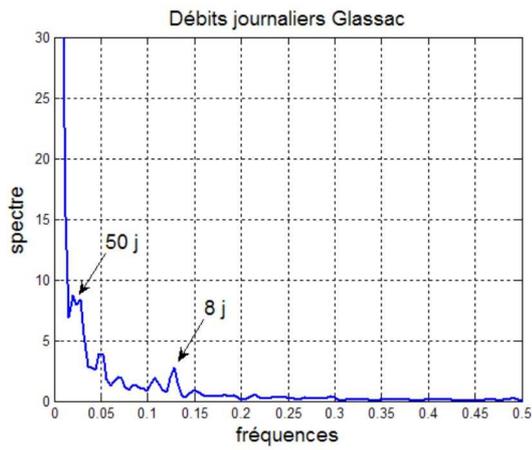
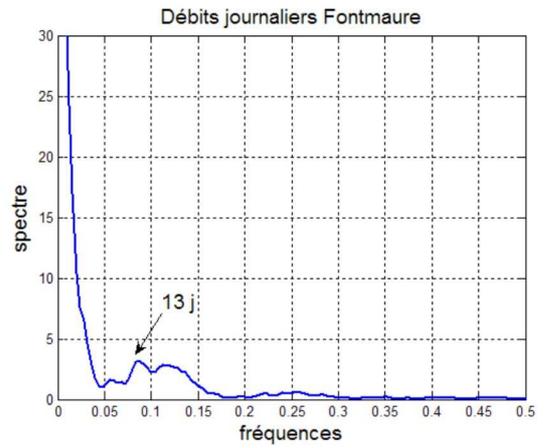
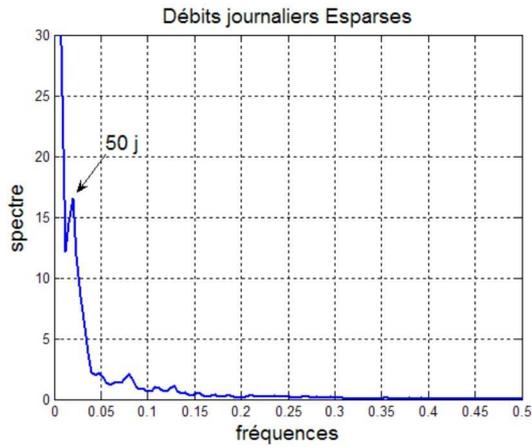
Annexe 3_c - Corrélogrammes croisés pluies-débits (données journalières)



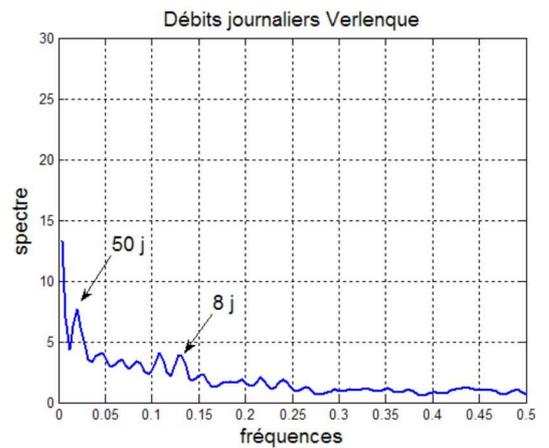
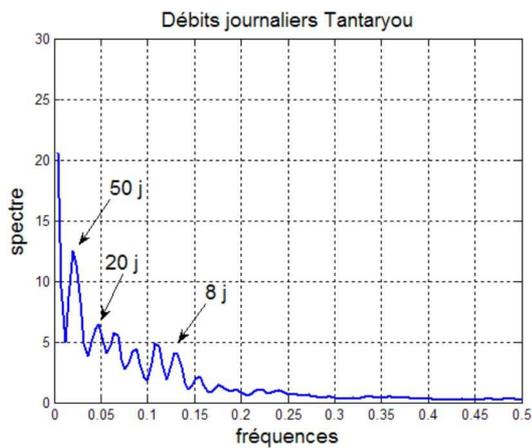
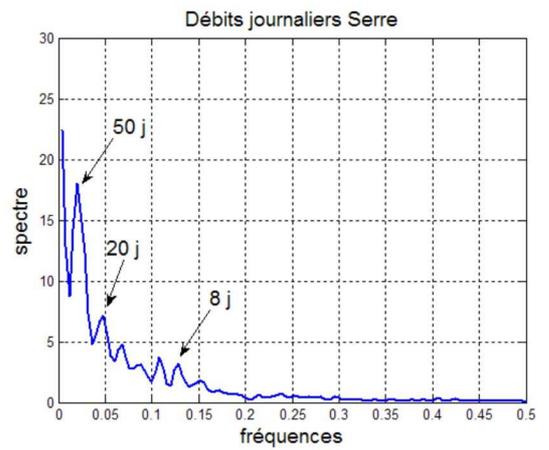
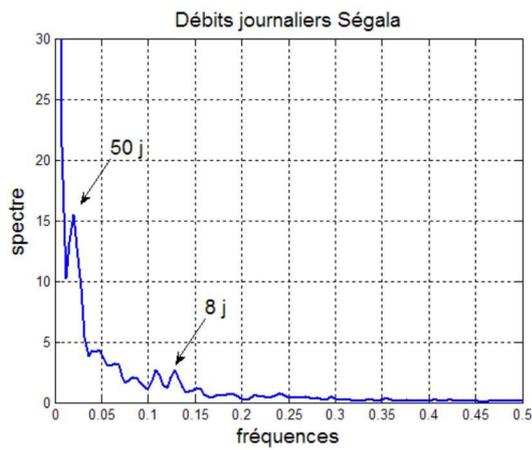
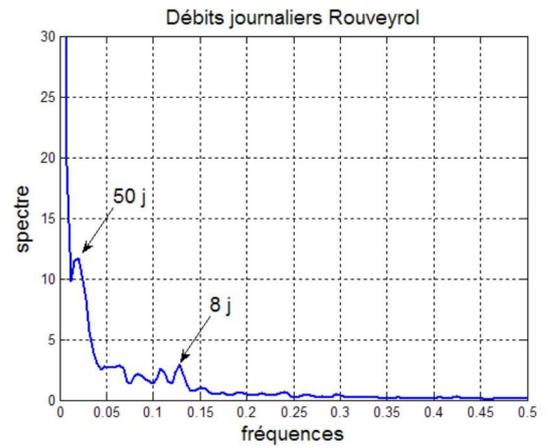
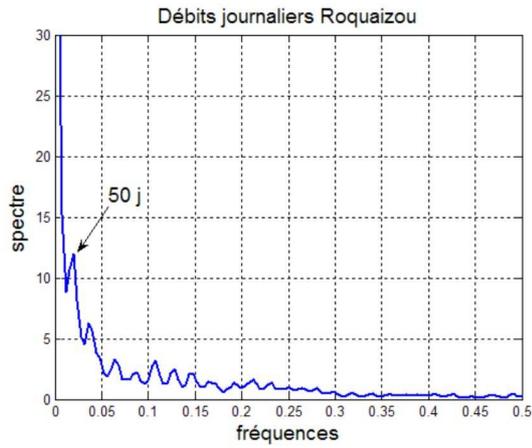
Annexe 4_a - Spectres débits (données journalières)



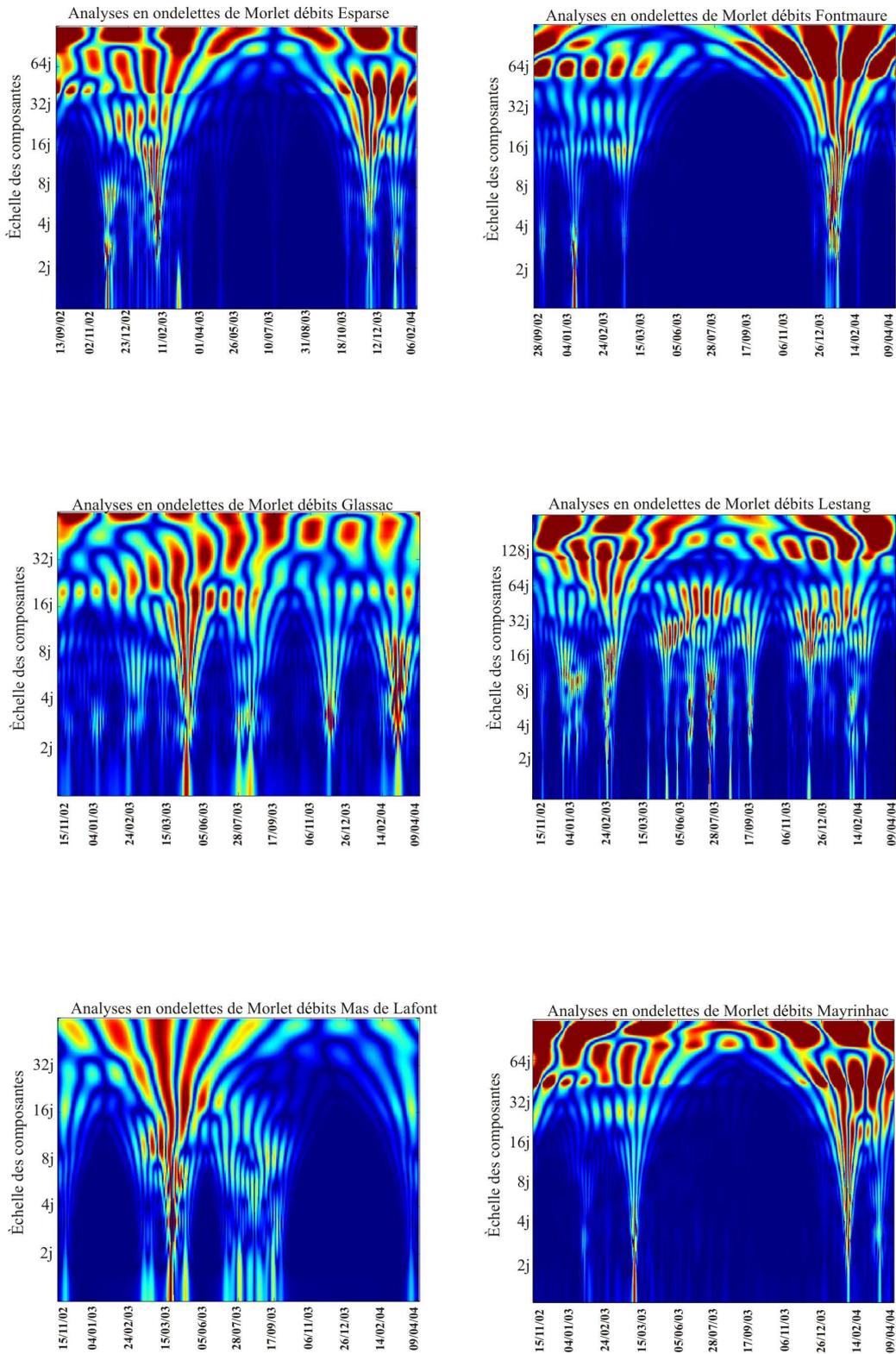
Annexe 4_b - Spectres débits (données journalières)



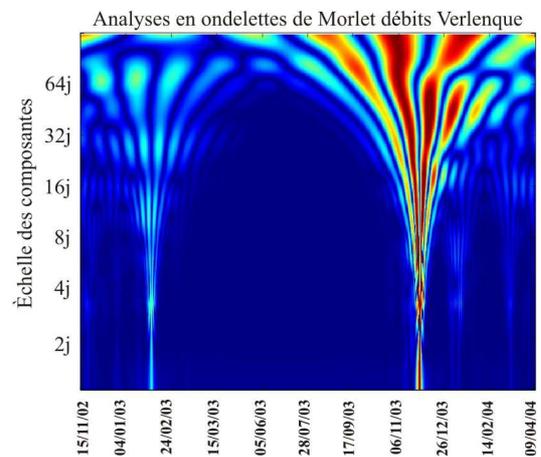
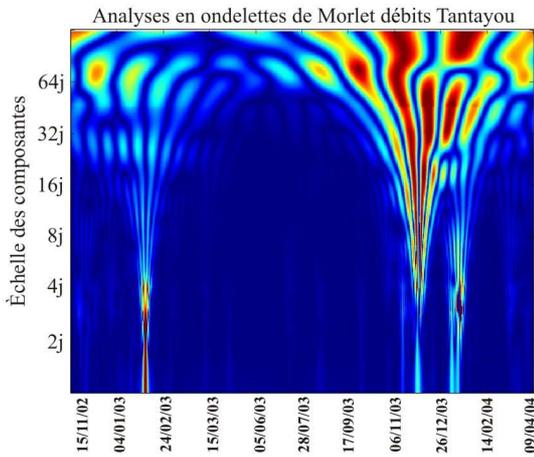
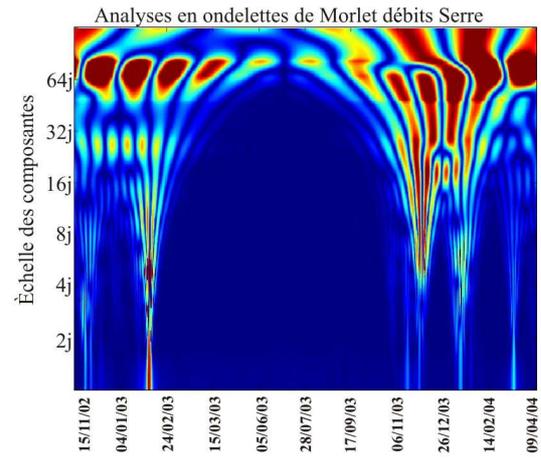
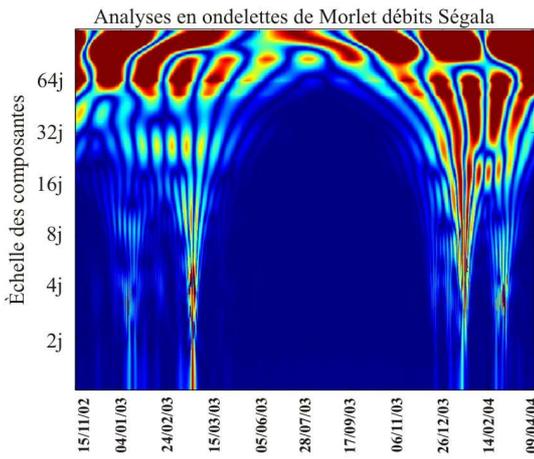
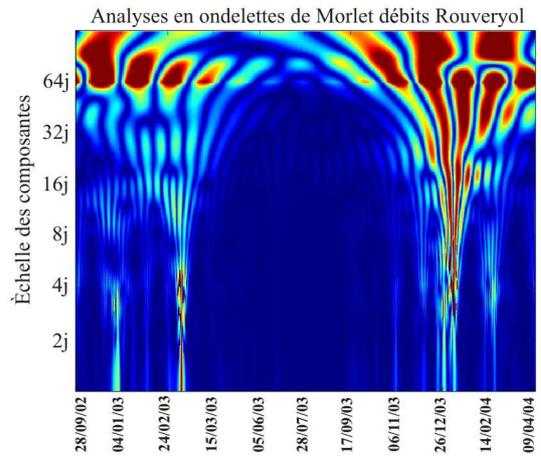
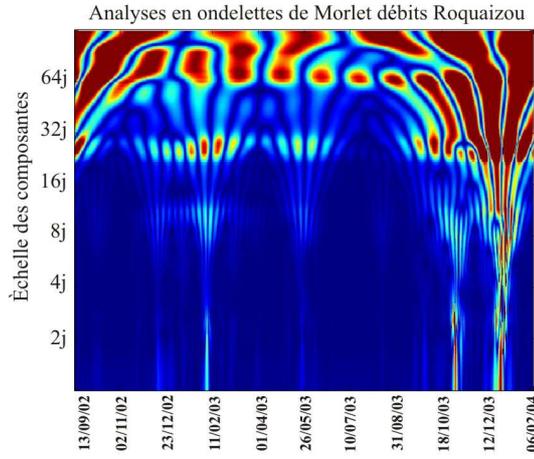
Annexe 4_c - Spectres débits (données journalières)



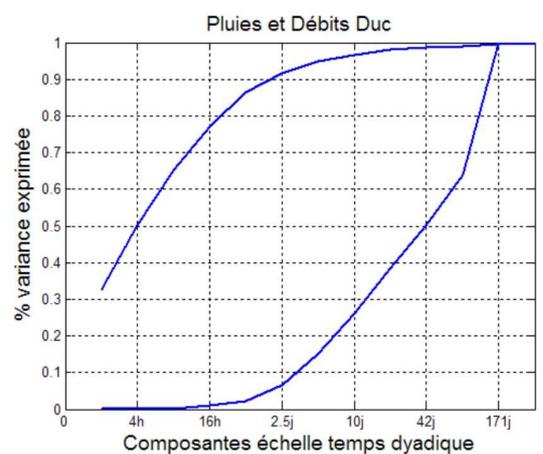
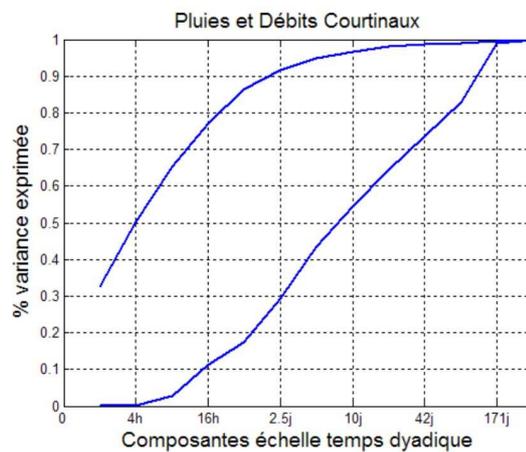
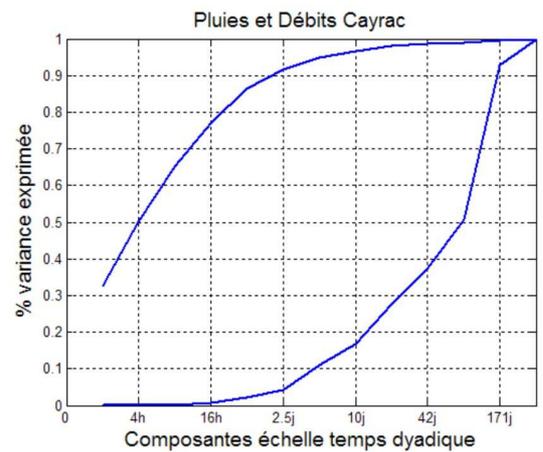
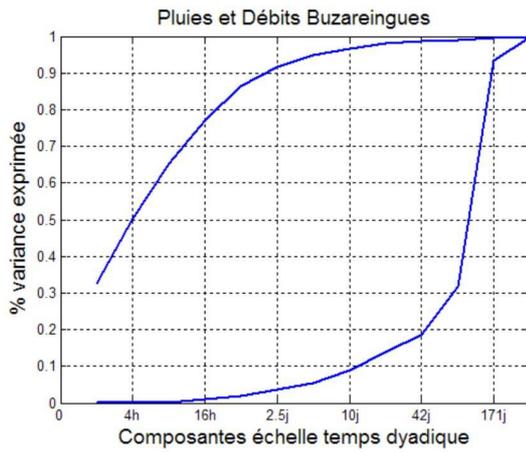
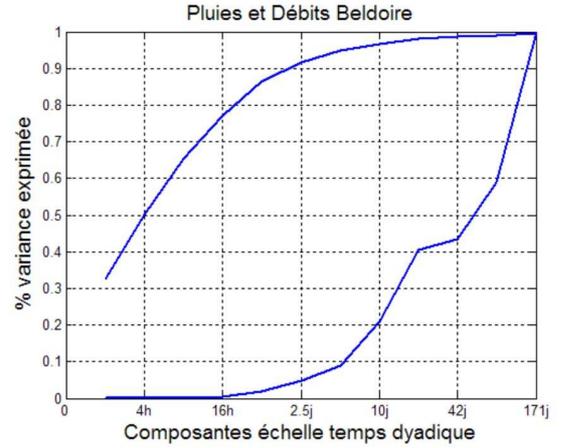
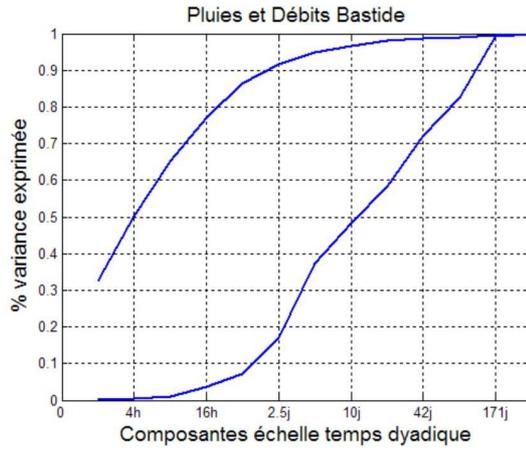
1.3.4 Analyses en ondelettes de Morlets des débits (données journalières)
Annexe 5_b - Analyses en ondelettes de Morlet des débits
(données journalières)



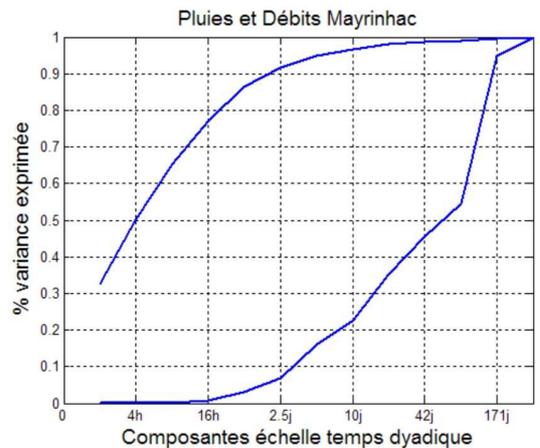
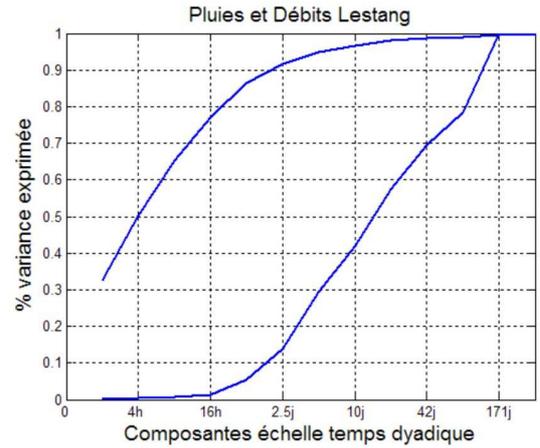
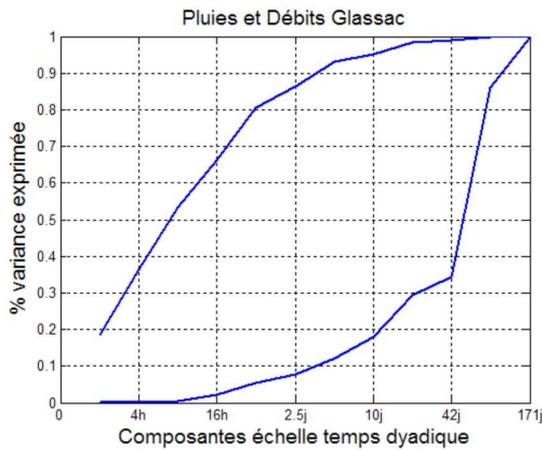
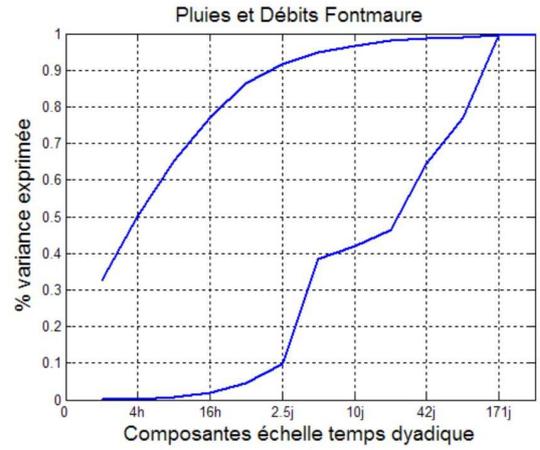
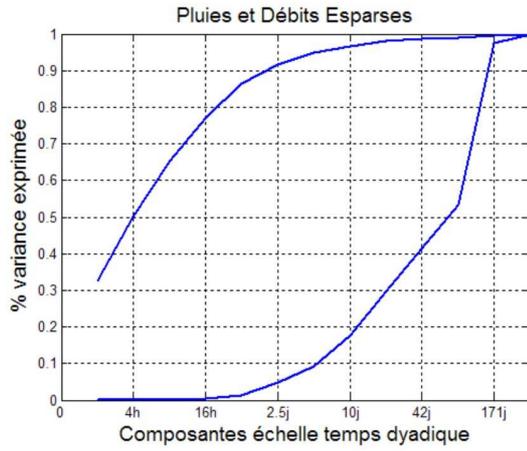
Annexe 5_c - Analyses en ondelettes de Morlet des débits (données journalières)



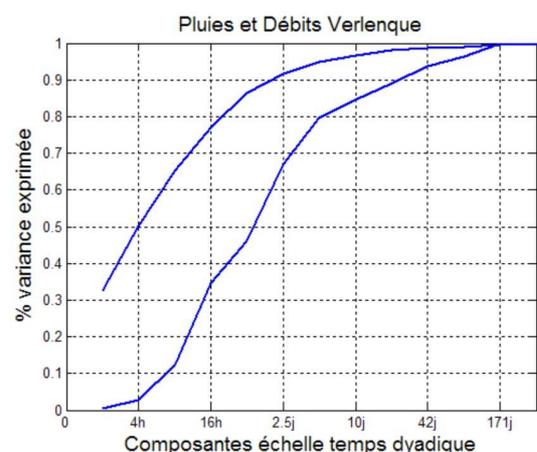
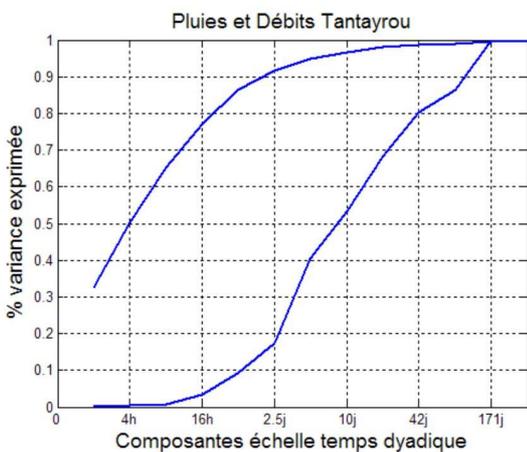
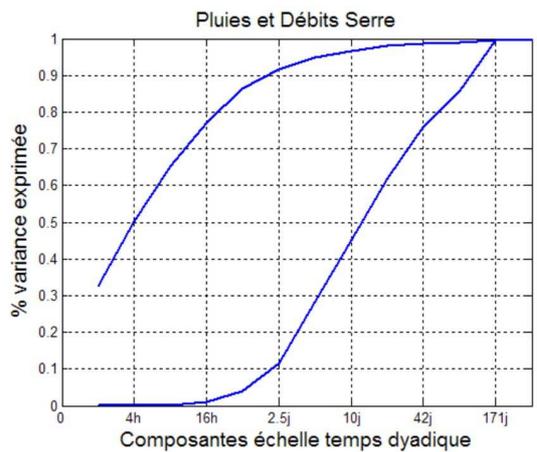
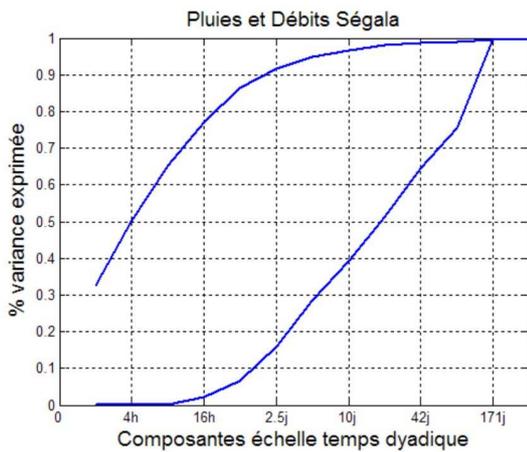
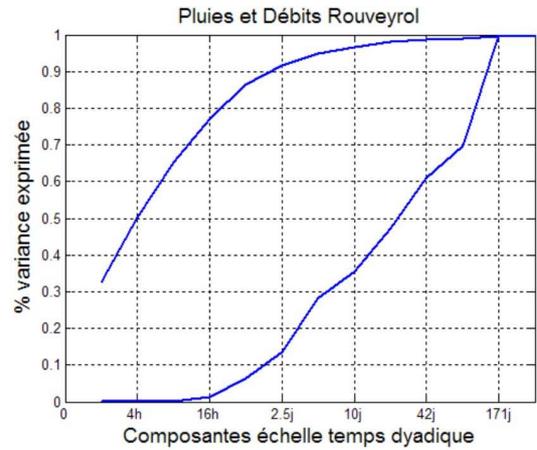
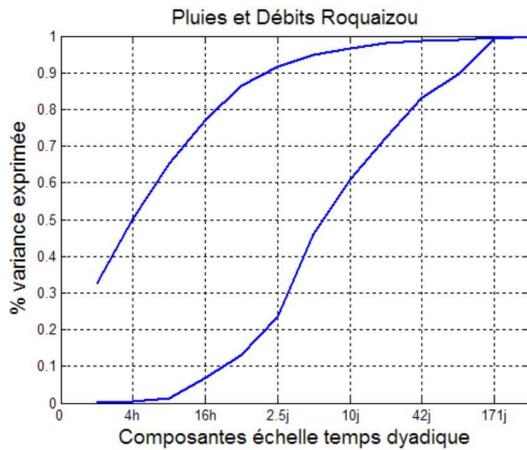
Annexe 6_a - Repartition des composantes par rapport à l'échelle (données semi-horaires)



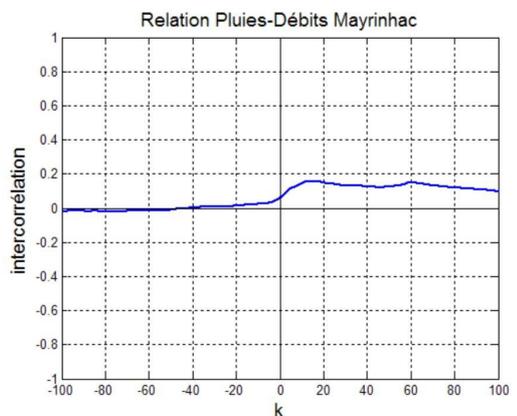
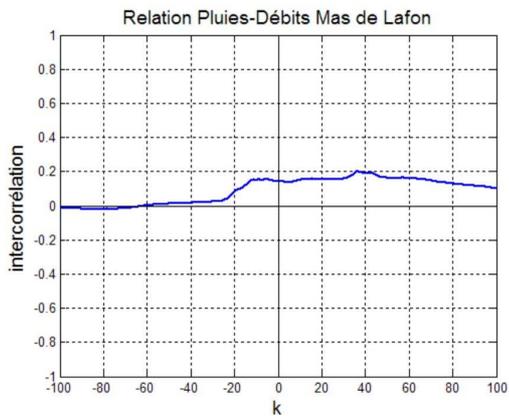
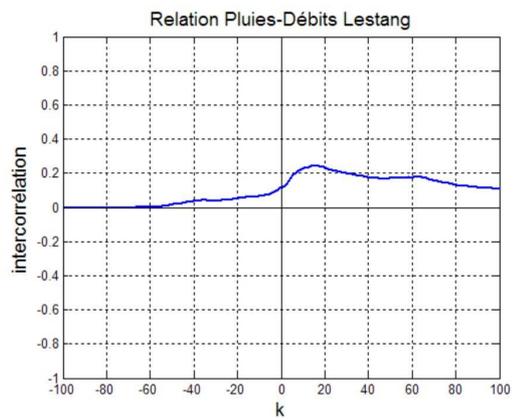
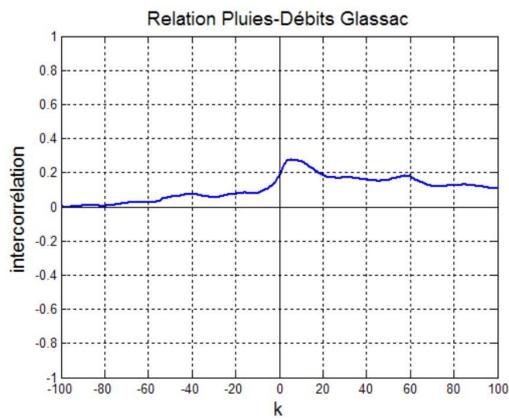
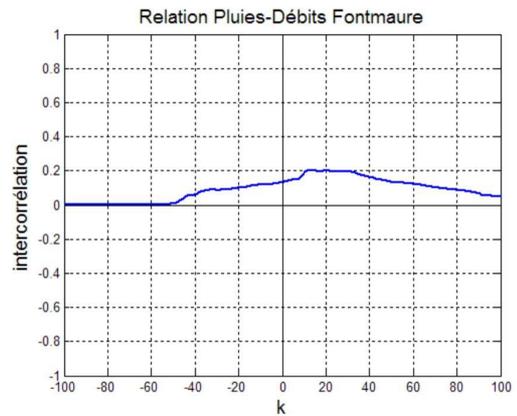
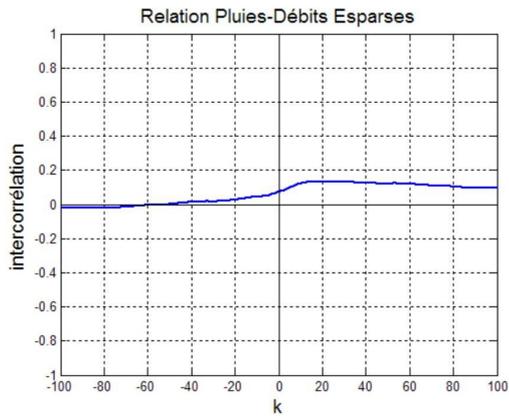
Annexe 6_b - Repartition des composantes par rapport à l'échelle (données semi-horaires)



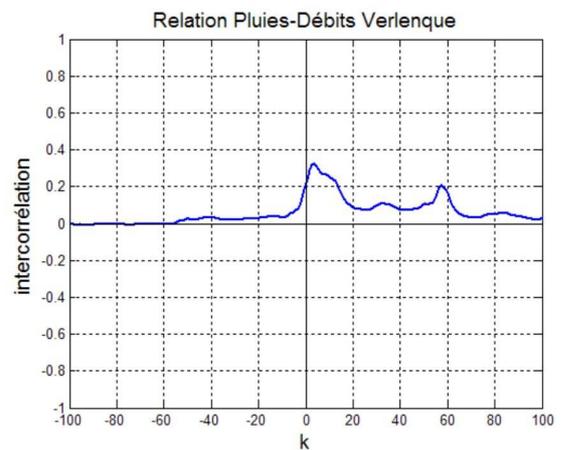
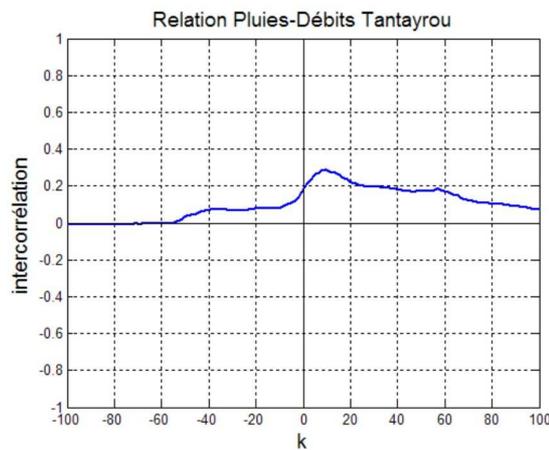
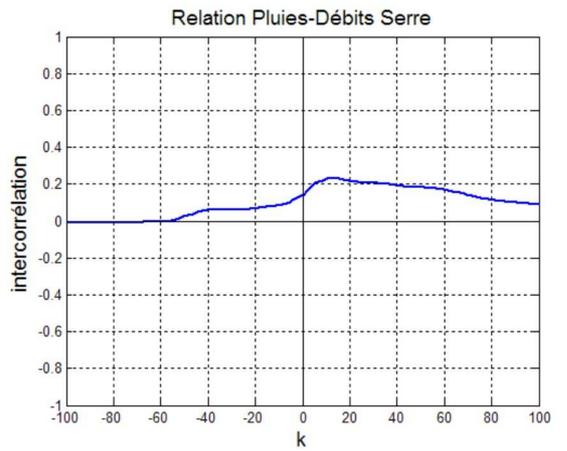
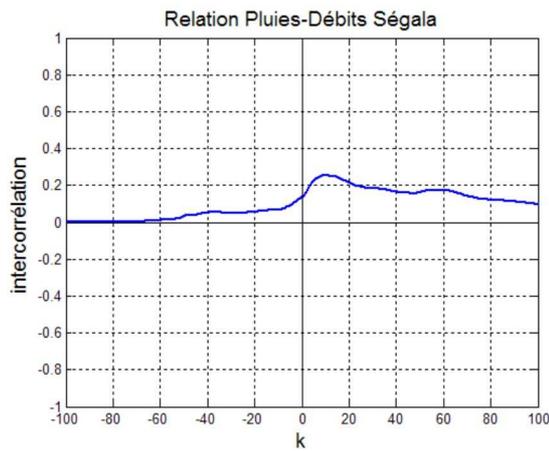
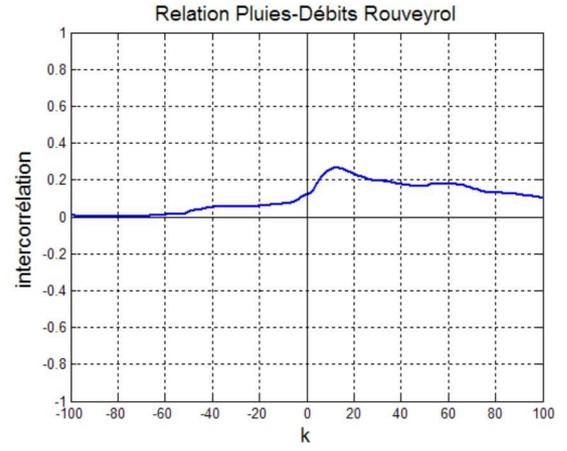
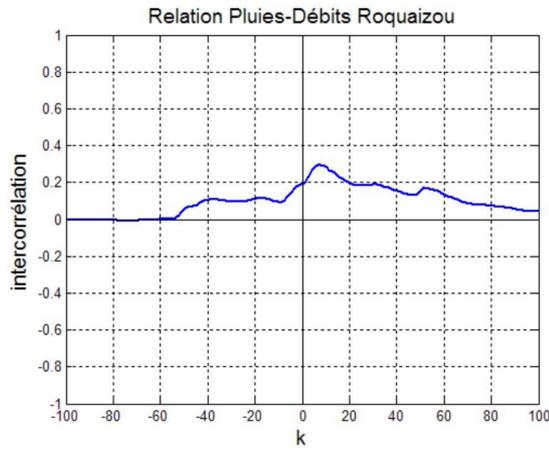
Annexe 6_c - Repartition des composantes par rapport à l'échelle (données semi-horaires)



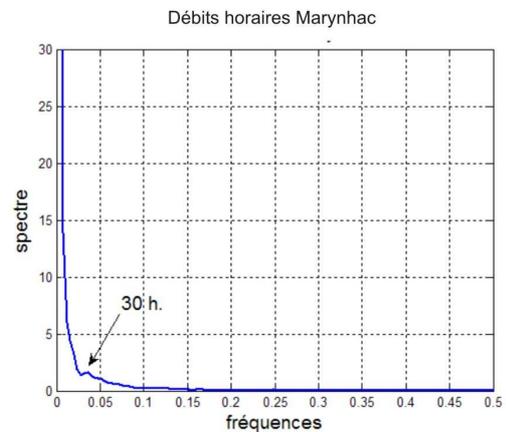
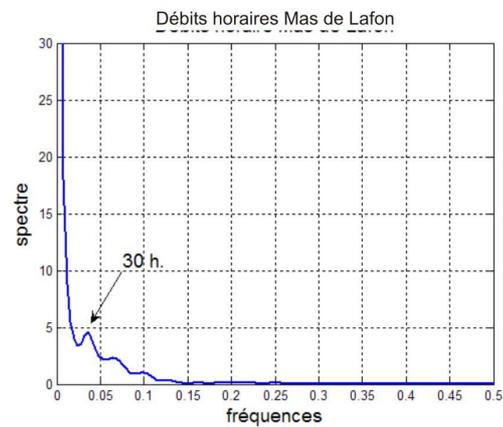
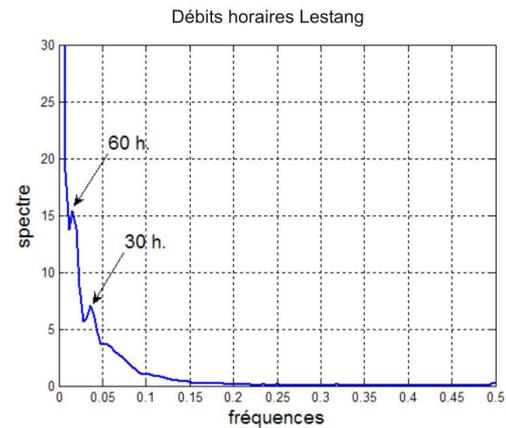
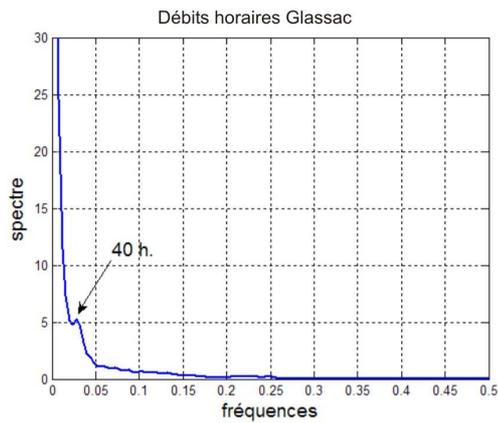
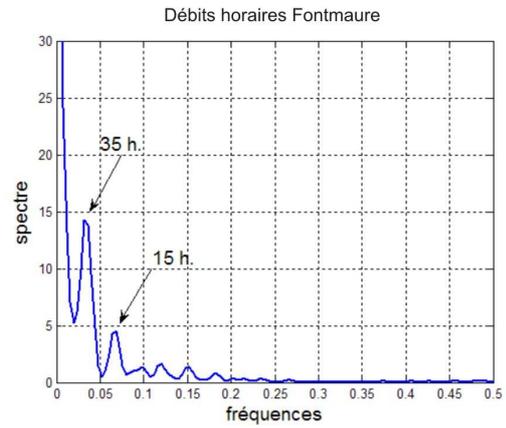
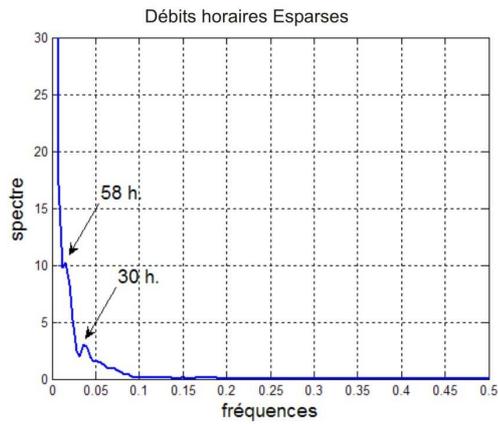
1.3.5 Corrélogrammes croisés pluies-débits (données semi-horaires)
Annexe 7_b - Corrélogrammes croisés pluies-débits
(données semi-horaires)



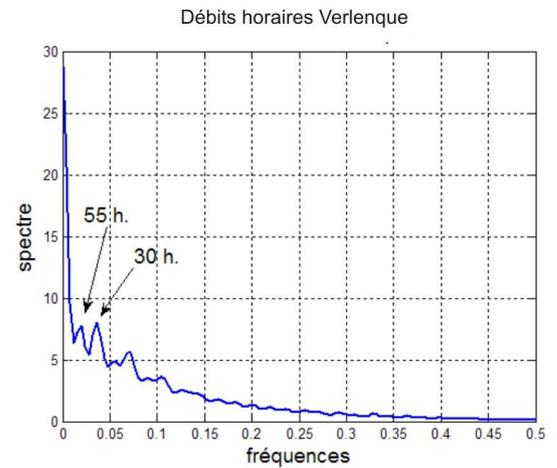
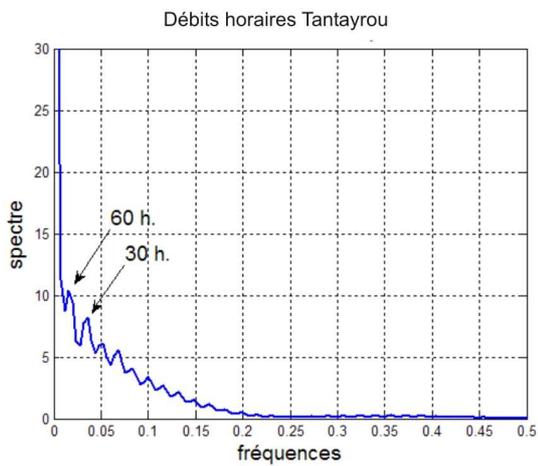
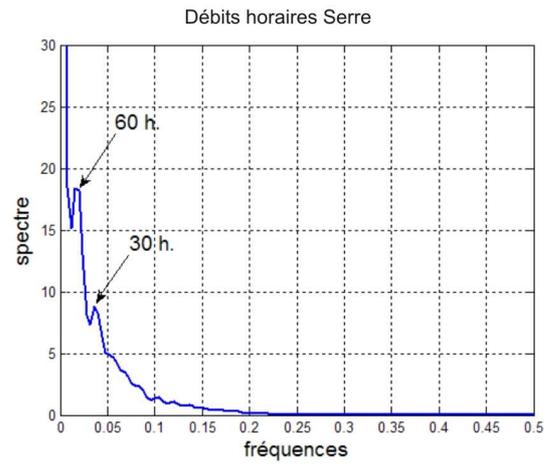
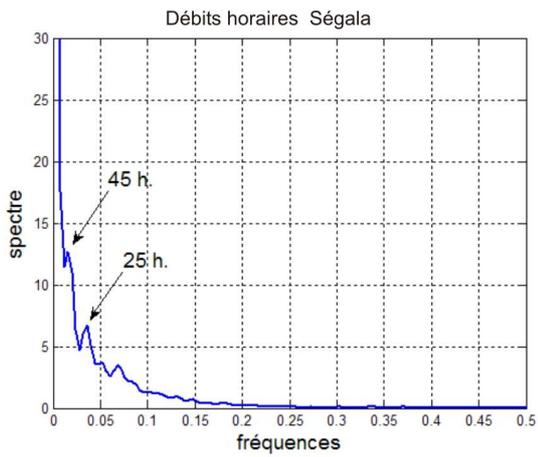
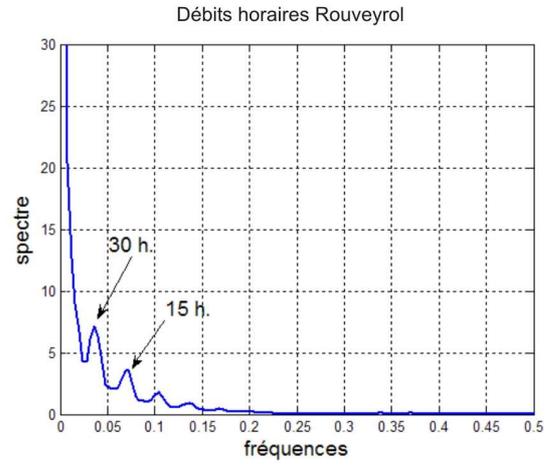
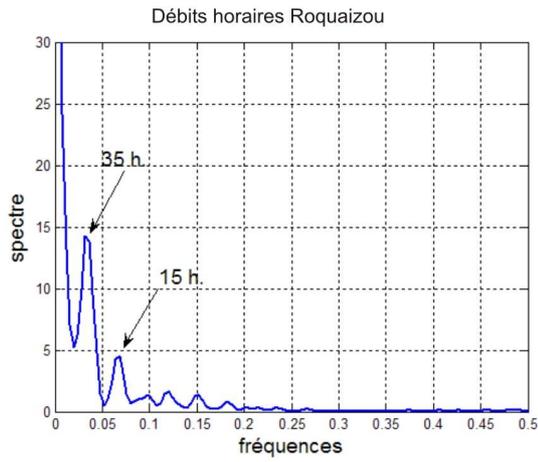
Annexe 7_c - Corrélogrammes croisés pluies-débits (données semi-horaires)



1.3.6 Spectres débits (données horaires) Annexe 8_b - Spectres débits (données horaires)

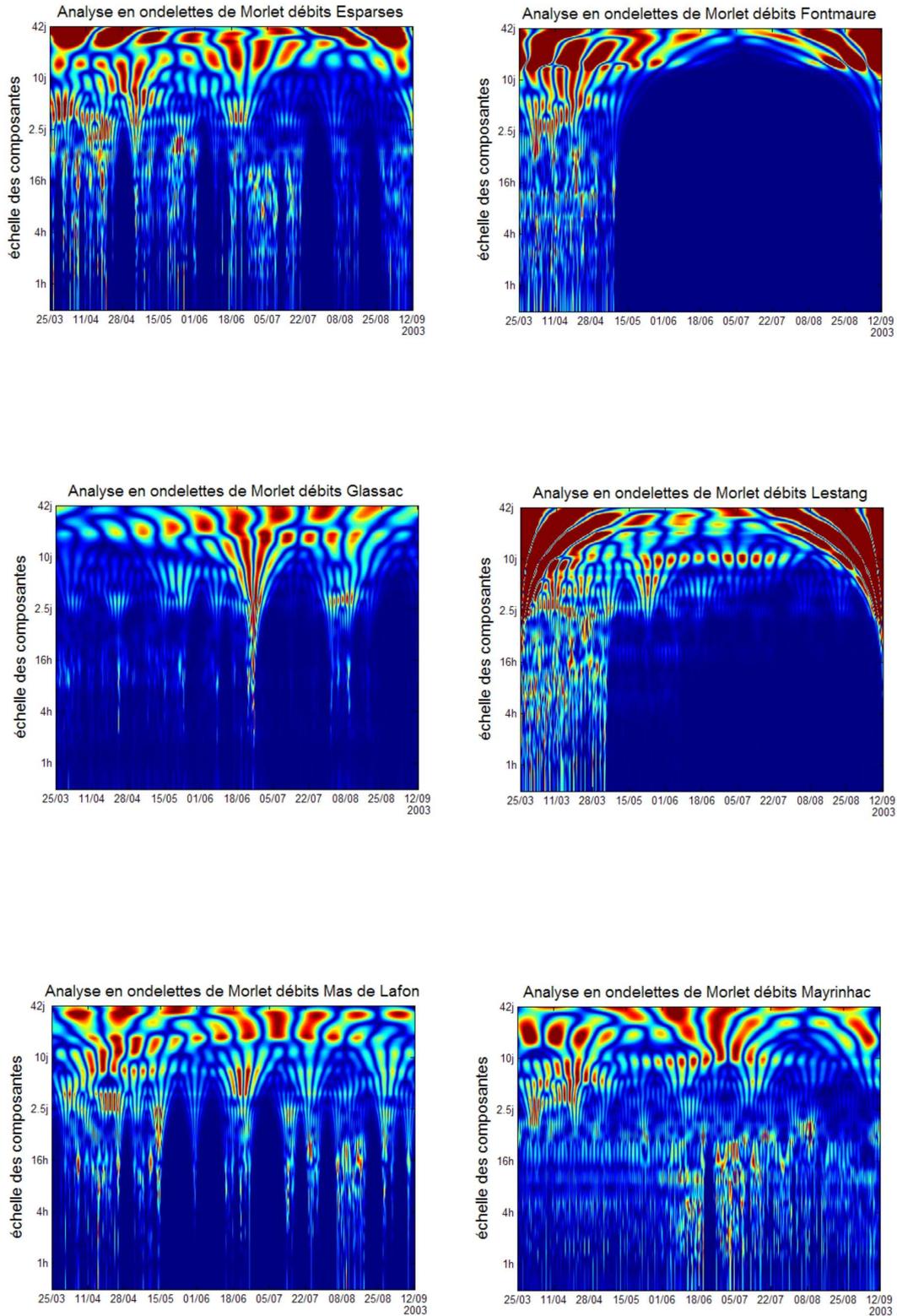


Annexe 8_c - Spectres débits (données horaires)

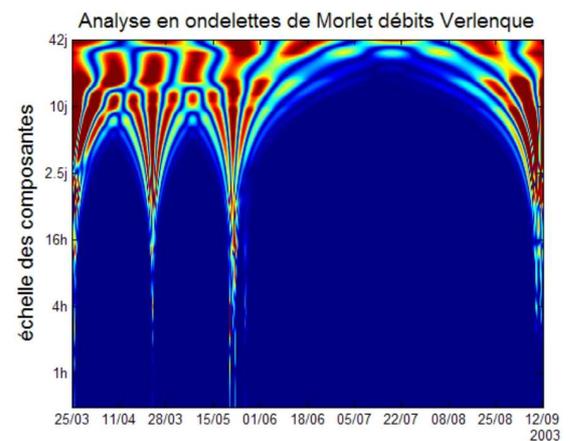
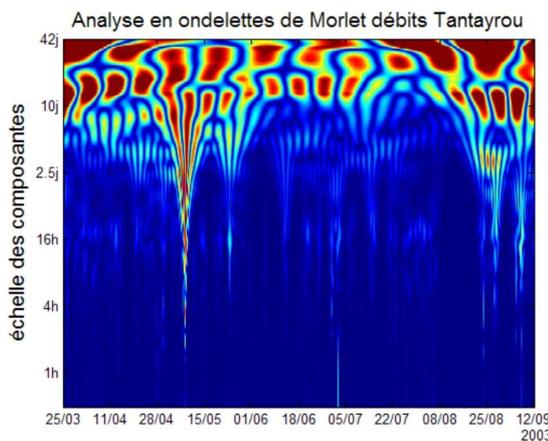
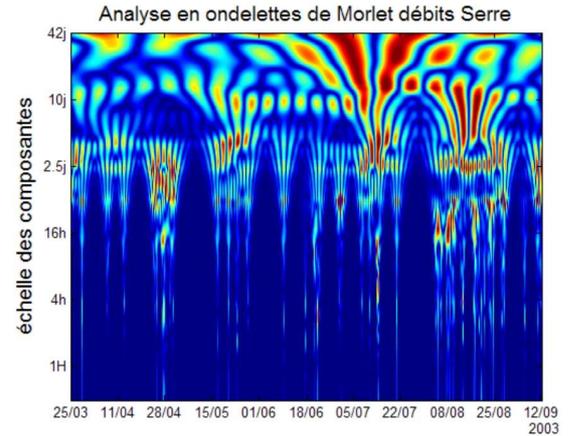
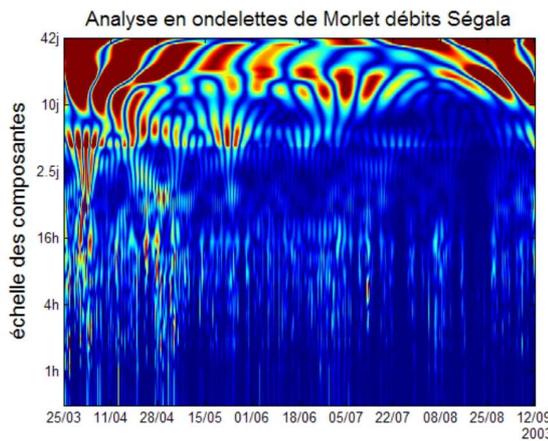
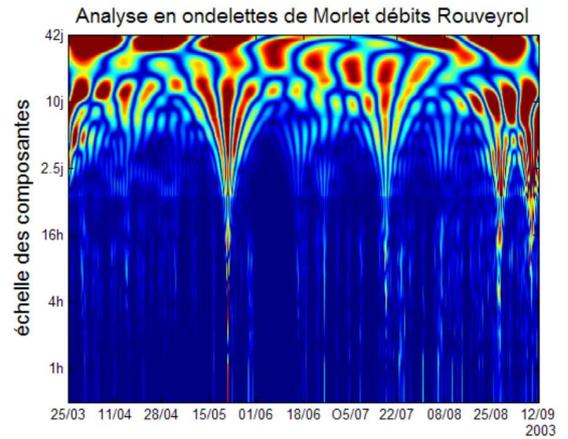
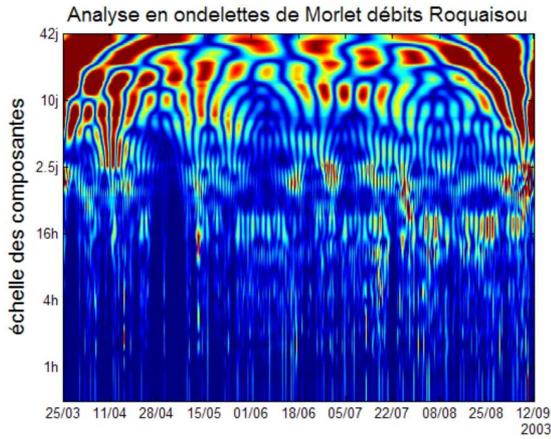


1.3.7 Analyses en ondelettes de Morlet des débits (semi-horaire)

Annexe 9_b - Analyses en ondelettes de Morlet des débits
(données semi-horaires)



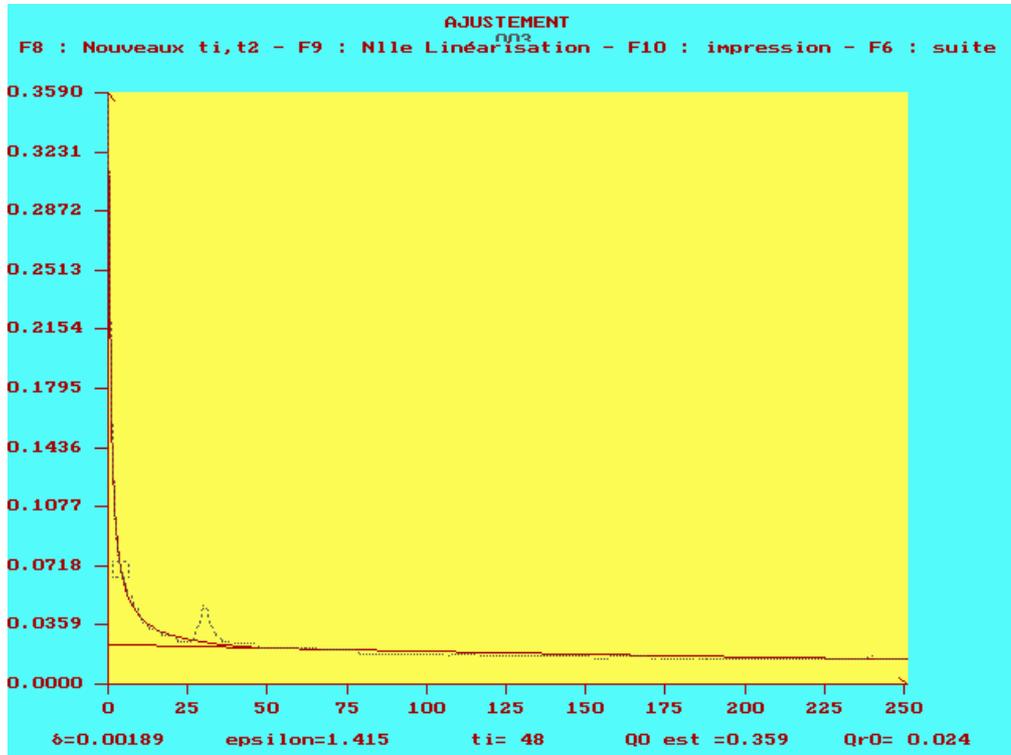
Annexe 9_c - Analyses en ondelettes de Morlet des débits (données semi-horaires)



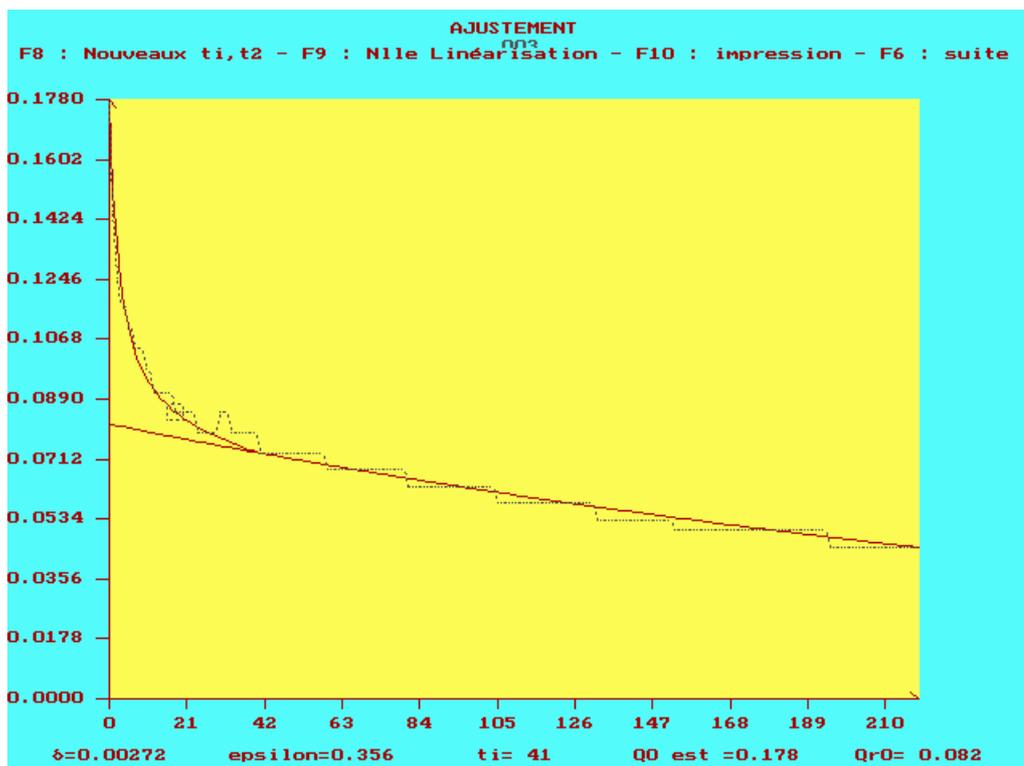
1.3.8 Analyse du tarissement

Exemples d'ajustement de courbes de récession (décrue + tarissement)

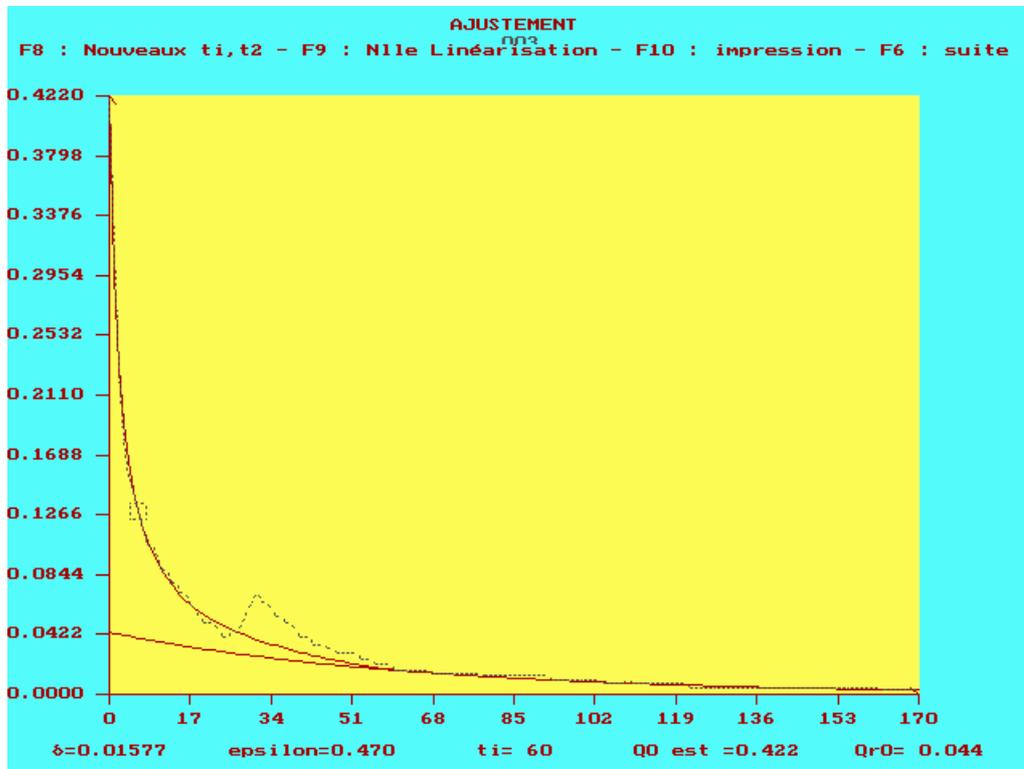
Source de Bastide



Source de Cayrac



Source du Duc



1.4 Résultats des tracages

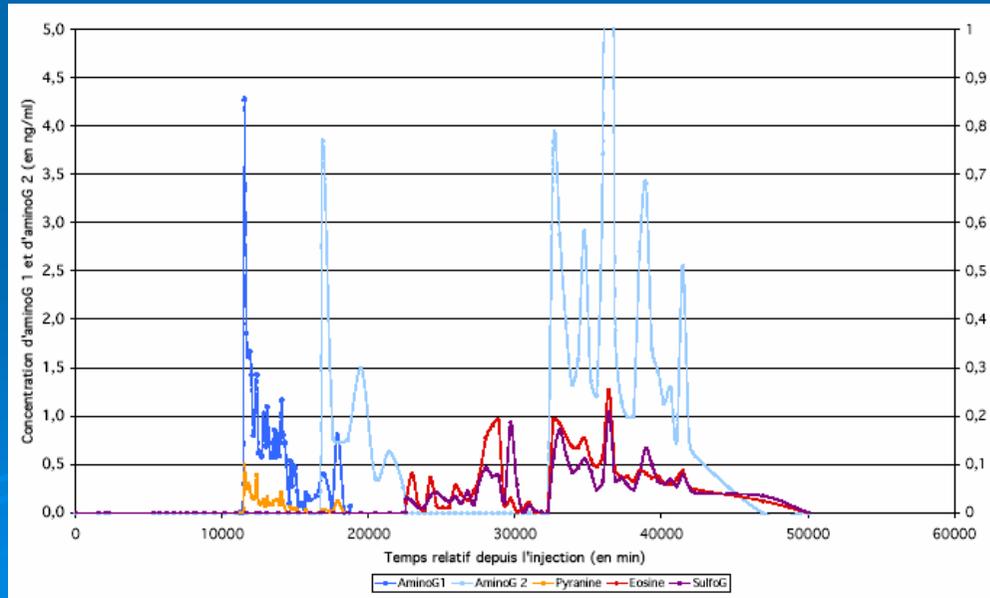
1.4.1 Photographies et graphiques des restitutions

Traçage de l'aven de la Peyrine (48-2)



Traçage de la perte du Souci (12-5)

⇒ Rouveyrol



Traçage de la perte des Sâgnes (12-7)

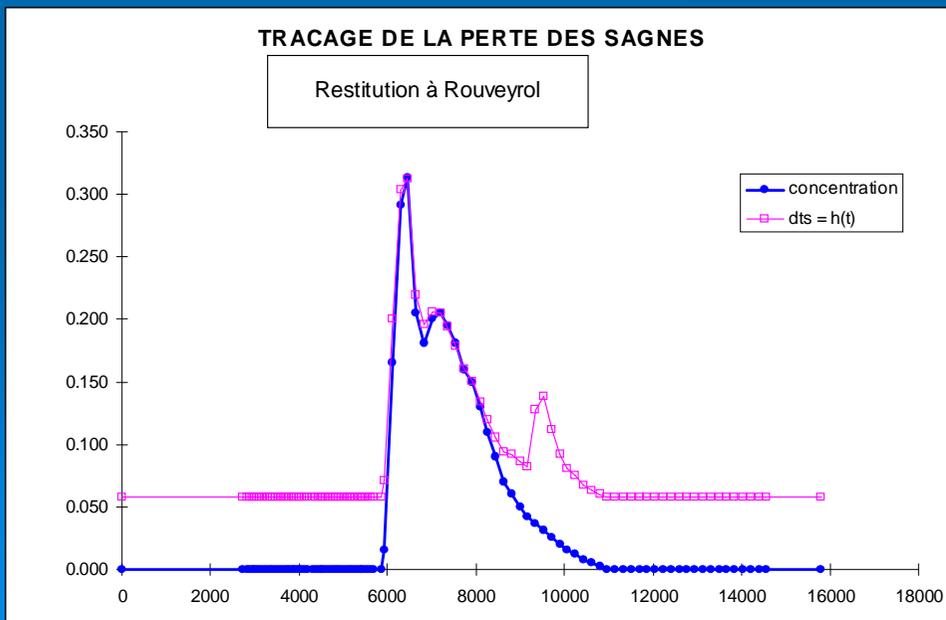
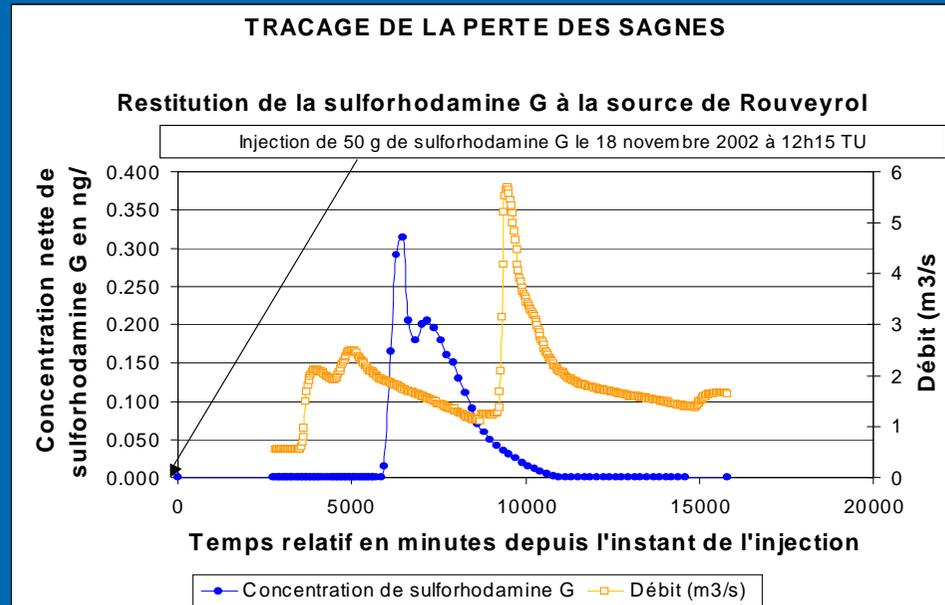
⇨ *Rouveyrol*



Traçage de la perte des Sâgnes

→ Rouveyrol

Traçage du 18/11/2002



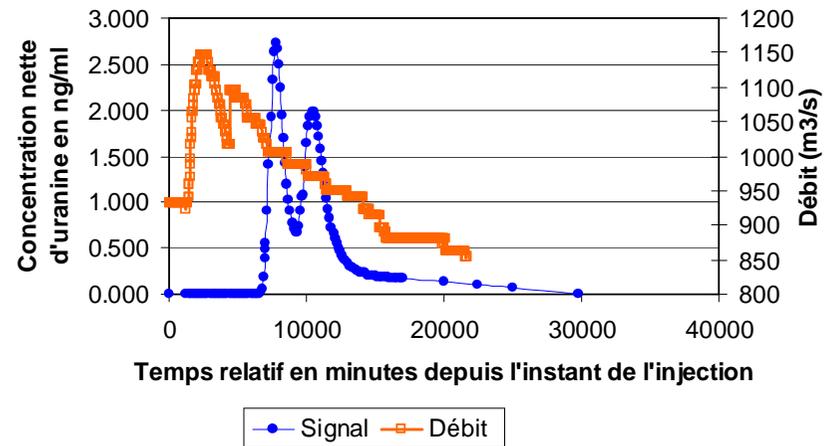
Traçage de la perte des Sâgnes

→ Rouveyrol

Traçage du 5/03/2003

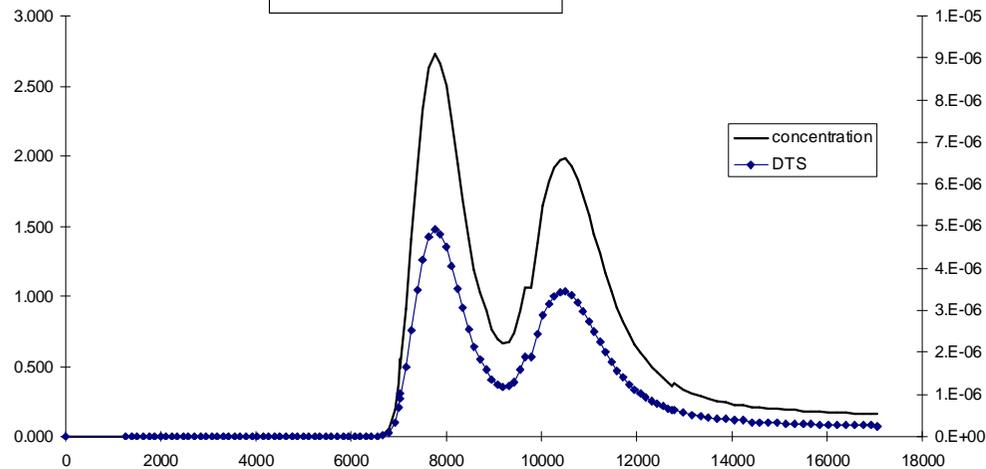
TRACAGE DE LA PERTE DES SAGNES Restitution du traceur à la source de Rouveyrol

Injection de 500 g d'uranine le 5 mars 2003 à 12h50 TU dans la perte des Sâgnes



TRACAGE DE LA PERTE DES SAGNES

Restitution à Rouveyrol



Traçage de la perte des Pradels (12-3)

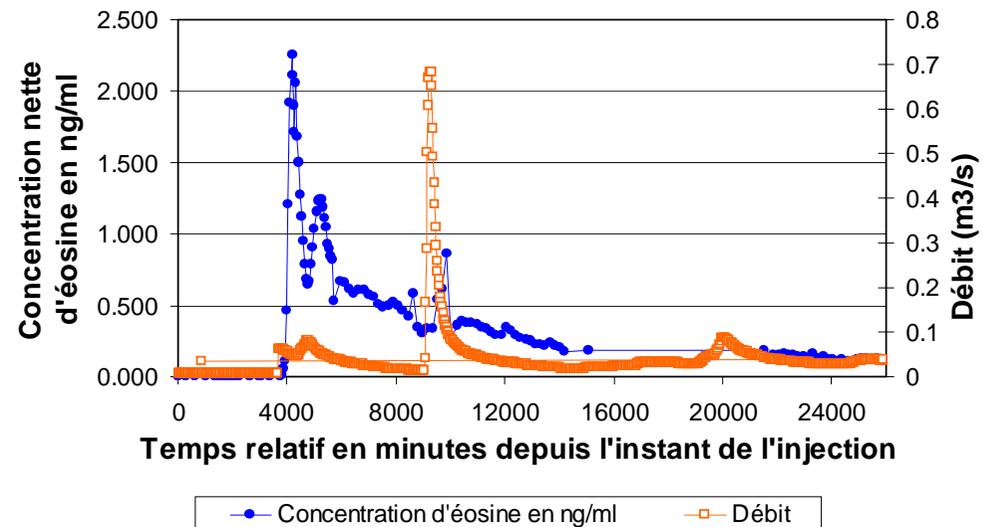
→ Résurgence du Verlenque



TRACAGE DE LA PERTE DES PRADELS

Restitution à la source de la Verlenque

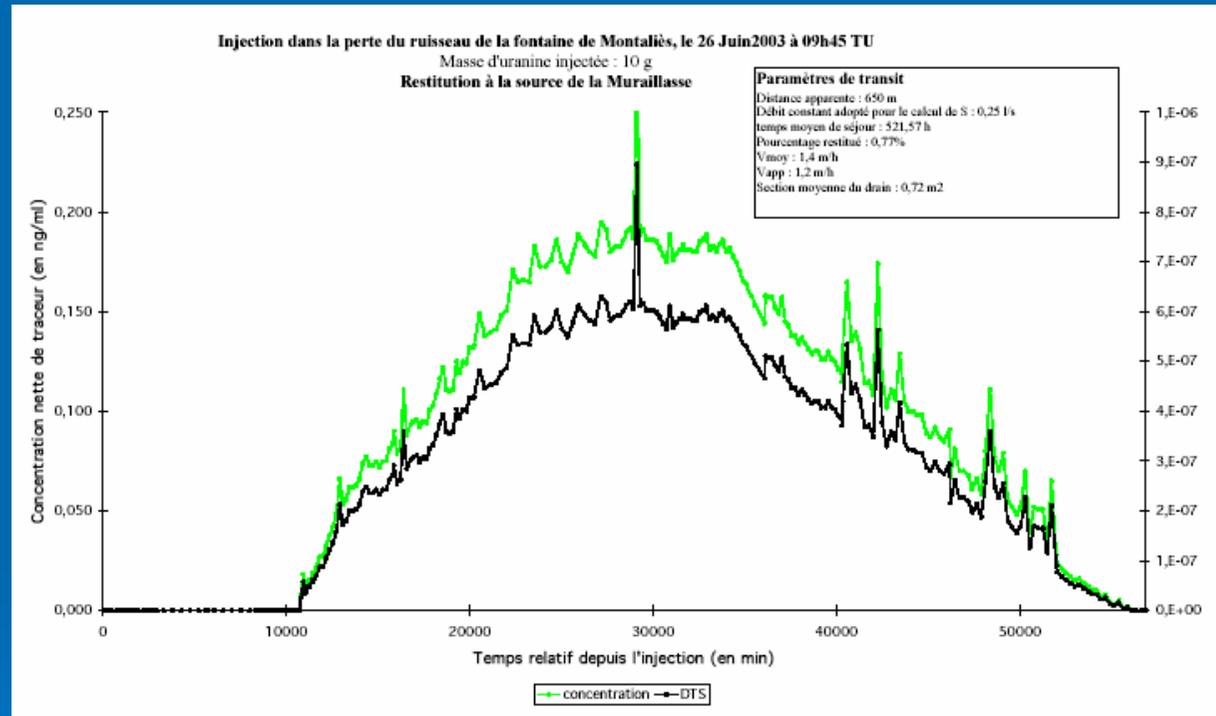
Injection de 50 g d'éosine le 18 novembre 2002 à 13h25 TU



Traçage de l'aven du serre des Grèzes (12-6) \Rightarrow ?

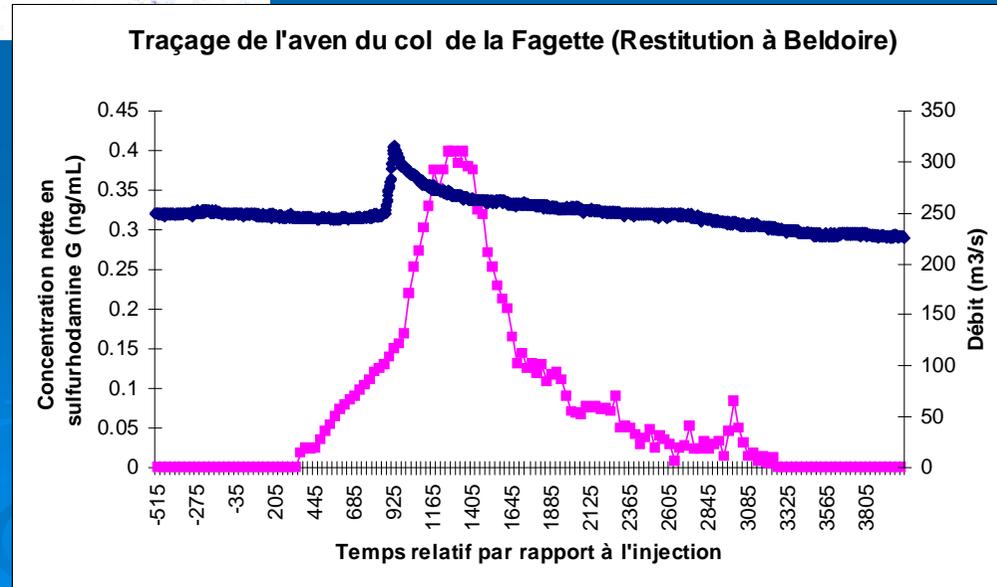


Traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès (12-12) \longrightarrow La Muraille



Traçage de l'aven du col de la Fagette (12-8)

→ Sources de Beldoire



Traçage de l'aven de Claux Pouchut (12-9) \longrightarrow ?



Traçage de l'aven de Combelongue (12-10)

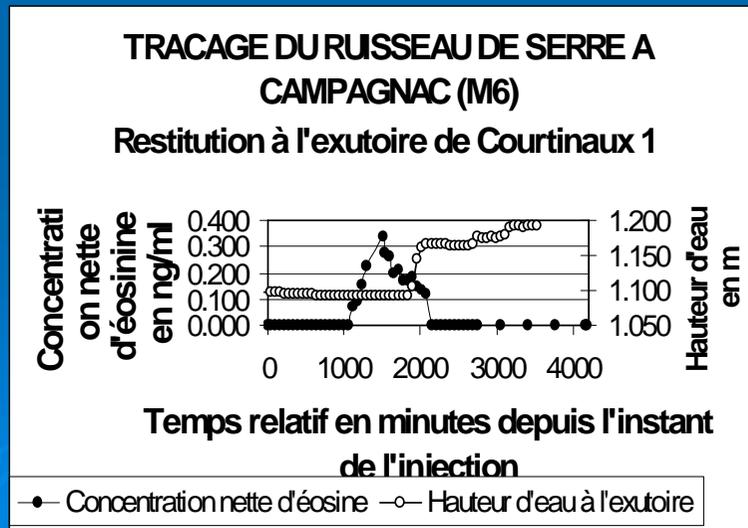
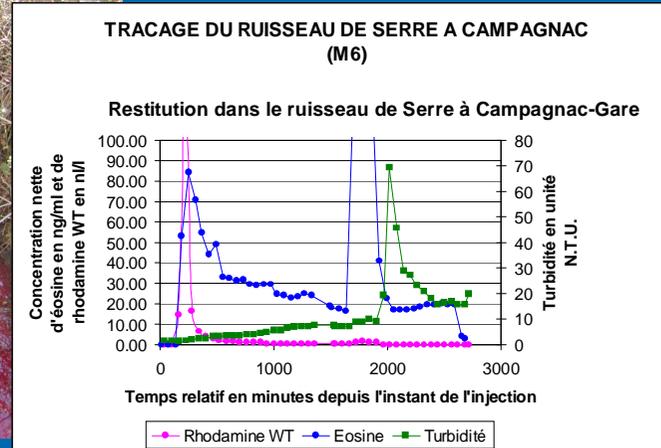


(Traçage en continu et instantané)

Traçage de la perte de la Serre à Campagnac (12-1 et 12-2)



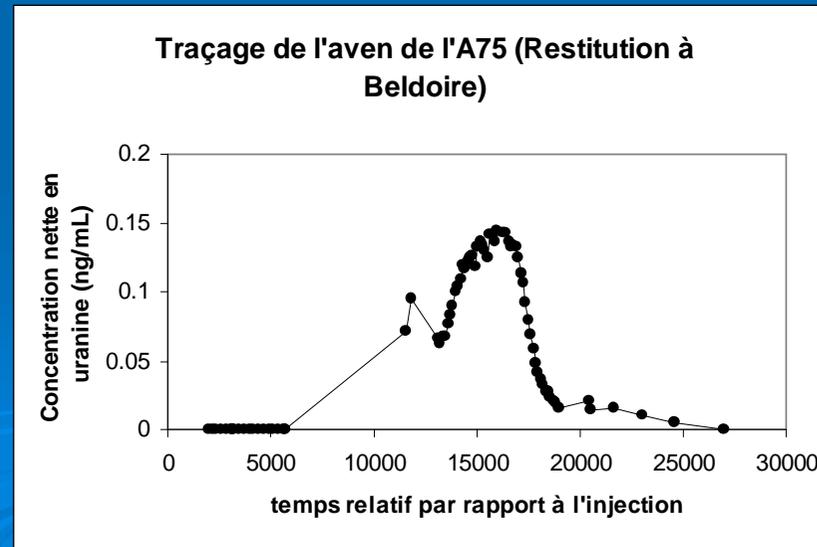
Courtinaux 1



Traçage de l'aven de la A75 (12-21)



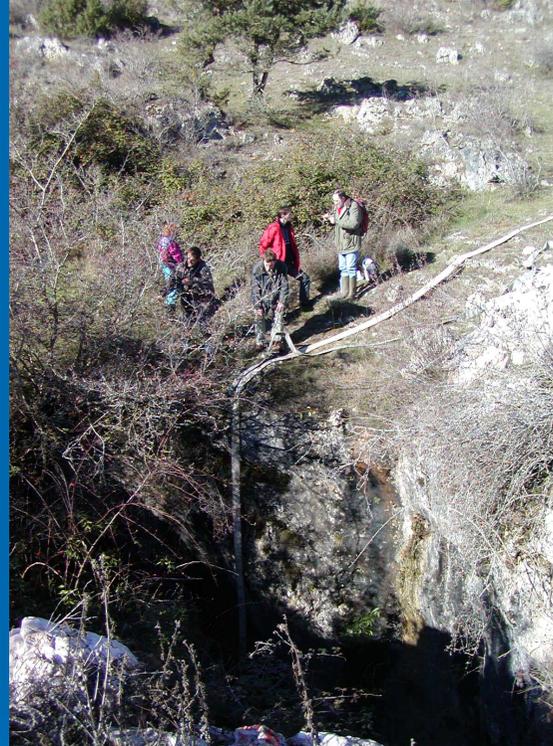
Sources de Beldoire



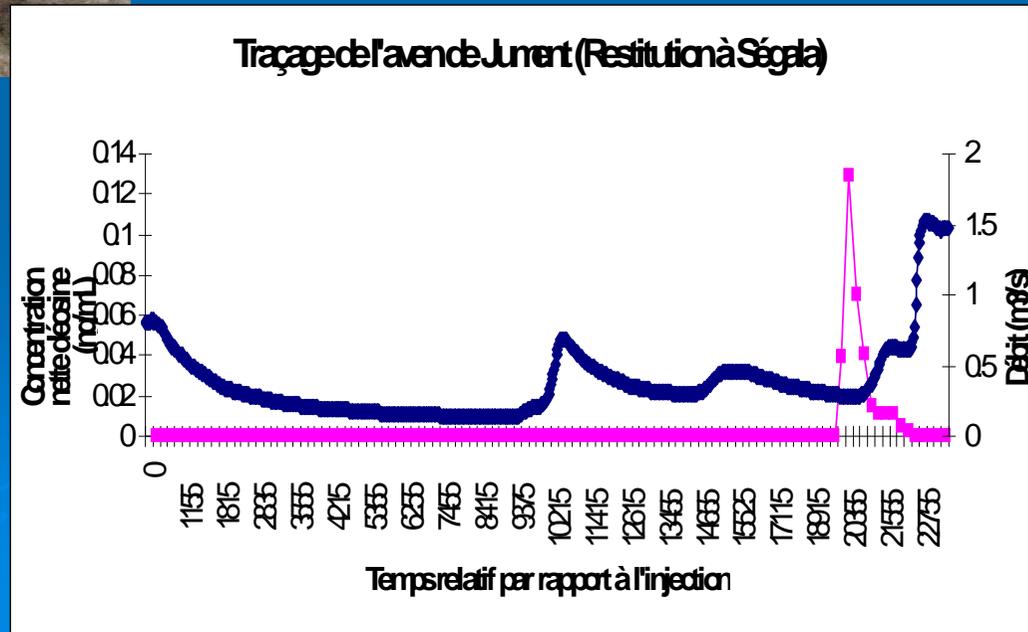
Traçage de l'aven du mas de Barthe (12-25)



Traçage de l'aven de Malpertus (12-24)

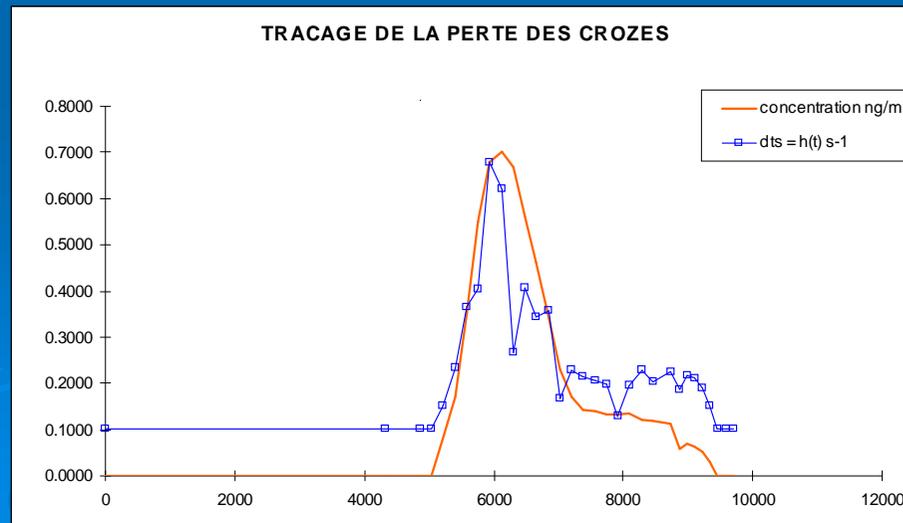
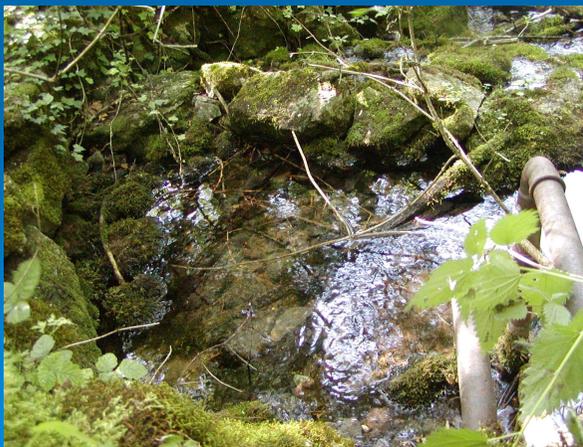
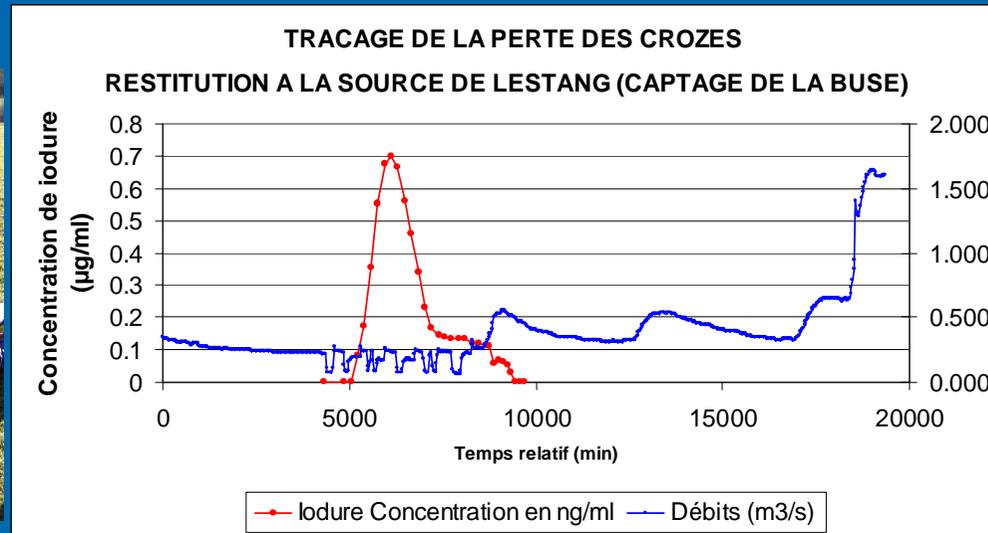


Traçage de l'aven des Aygues (des Juments) (12-23) \longrightarrow Ségala



Traçage de la perte des Crozes (12-22)

→ Lestang captage de la buse



Traçage de l'aven des Claux (12-26)



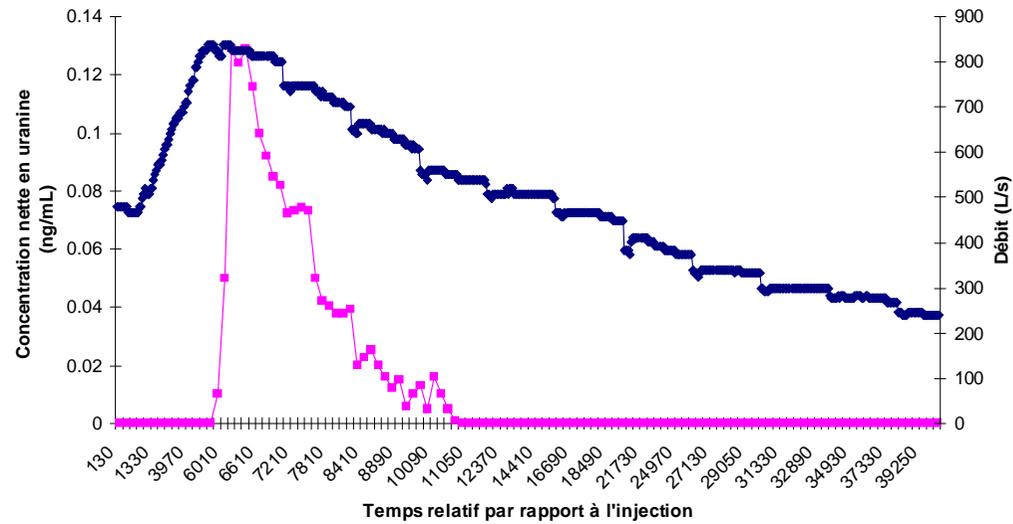
Traçage de l'aven d'Aguès (12-28)



Esparse



Traçage de l'aven d'aguès (Restitution à Esparse)

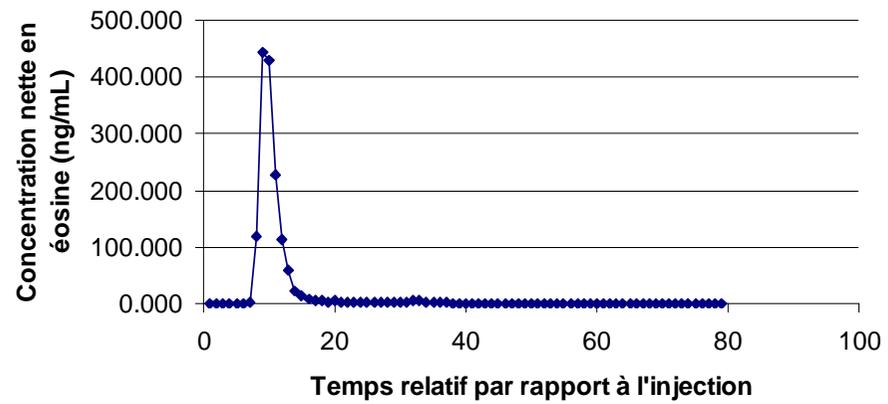


Traçage de l'aven de Cassagne (12-29)

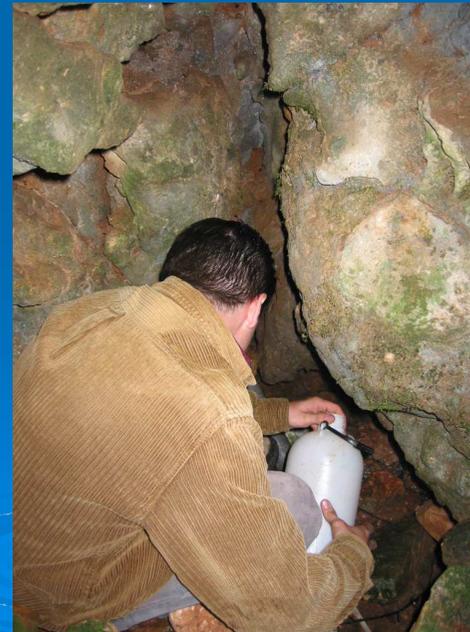
→ Mayrinhac



Traçage de l'aven de Cassagne (Restitution à Mayrinhac)



Traçage de l'aven de Belhomme (12-31)



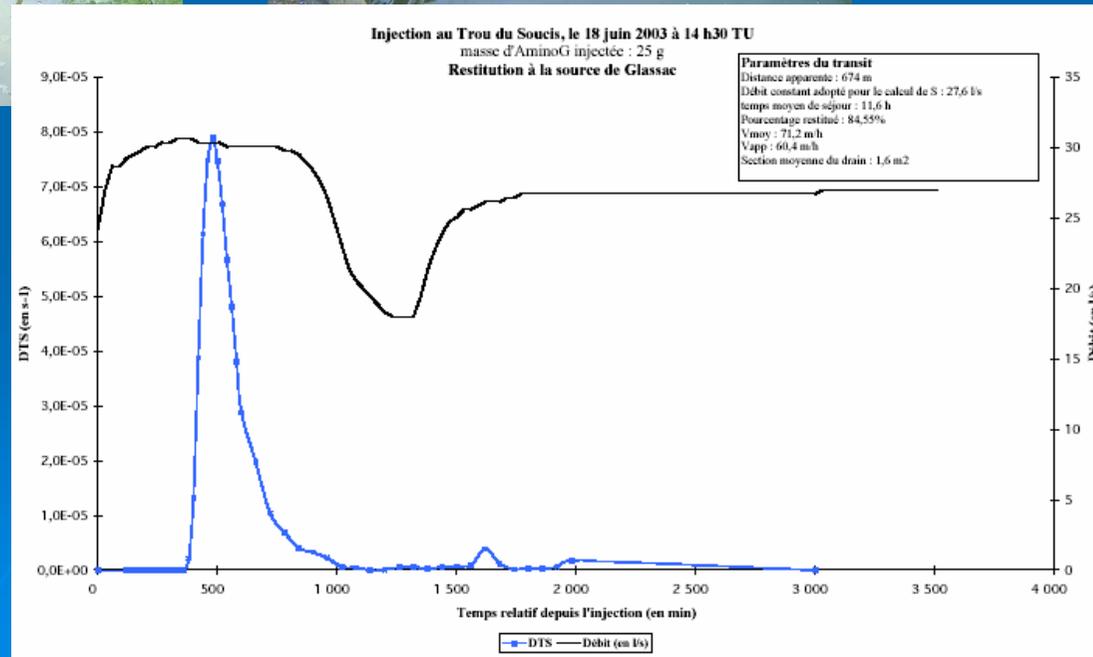
Traçage de l'aven des 3 communes (12-30)



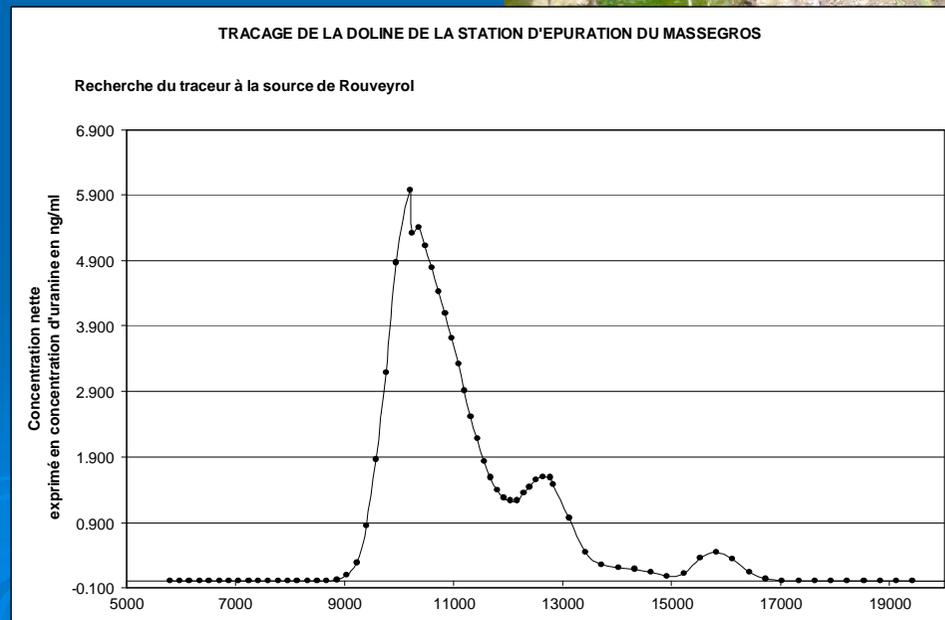
Traçage du trou du Souci (12-16)



Glassac



Traçage de la STEP du Massegros (48-1) \longrightarrow Rouveyrol

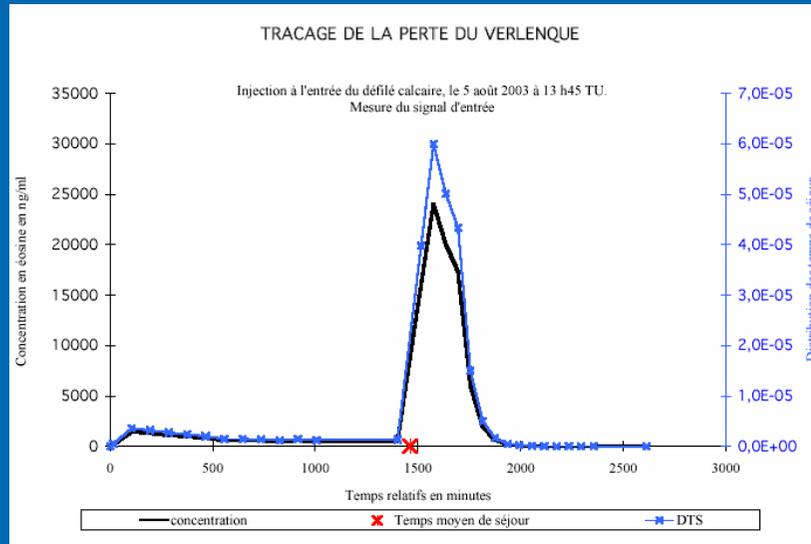


(Traçage en continu)

Traçage des pertes du Verlenque (12-14)



Résurgence du Verlenque amont



1.4.2 Tableaux

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendu	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-1 Aveyron	Ruisseau de Serre Campagnac (Aveyron)	X = 0659,166 Y = 1934,819 Z = 670 m	Calcarénites massives (Lotharingien)	19 novembre 2002, 12h20 TU Q = 86 l/s	Eosine gamma 100 g Brève	Ruisseau de Serre à la gare de Campagnac (Aveyron)	X = 0658,181 Y = 1936,001 Z = 655 m	Marnes et calcaires du Carixrien	19 novembre 2002, 14h00 TU 92 l/s
						Sce de Courtinaux I Campagnac (Aveyron)	X = 0659,649 Y = 1936,385 Z = 629 m	Dolomie fine (Hettangien-Sinémurien)	20 novembre 2002, 5h00 TU 57 < Q < 282 l/s
						Sce de Courtinaux II ; Campagnac (Aveyron)	X = 0659,740 Y = 1936,468 Z = 601	Dolomie fine (Hettangien-Sinémurien)	Pas de restitution Constatée
12-2 Aveyron	Ruisseau de Serre Campagnac (Aveyron)	X = 0659,166 Y = 1934,819 Z = 670 m	Calcarénites massives (Lotharingien)	19 novembre 2002, 12h50 TU Q = 86 l/s	Rhodamine WT 1000 ml Injection continue en vue d'obtenir Un créneau de concentration dans le ruisseau et à l'exutoire	Ruisseau de Serre à la gare de Campagnac (Aveyron)	X = 0658,181 Y = 1936,001 Z = 655 m	Marnes et calcaires du Carixrien)	19 novembre 2002, 15h00 TU
						Sce de Courtinaux I Campagnac (Aveyron)	X = 0659,649 Y = 1936,385 Z = 629 m	Dolomie fine (Hettangien-Sinémurien)	20 novembre 2002, 7h00 TU 54 < Q < 357 l/s
						Sce de Courtinaux II ; Campagnac (Aveyron)	X = 0659,740 Y = 1936,468 Z = 601	Dolomie fine (Hettangien-Sinémurien)	Pas de restitution Constatée
12-3 Aveyron (début)	Perte des Pradels Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,035 Y = 1919,108 Z = 883 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	18 novembre 2002, 13h25 TU Injection de 16 000 l d'eau après l'injection du traceur	Eosine gamma 50 g Brève	Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716	Dolomies brunes (Bajocien)	21 novembre 2002, 4h00 TU 19 < Q < 241 l/s
						Sce de la Muraillese, Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,808 Y = 1920,053 Z = 750 m	Calcaire lithographique (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Bastide Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,770 Y = 1922,618 Z = 710 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée

									Sce de Cayrac Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0659,881 Y = 1923,330 Z = 720 m	Calcaire à rhynchonelles (Aalénien)	Pas de restitution constatée
									Sce de l'Aveyron Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,478 Y = 1923,803 Z = 735 m	Calcaire à rhynchonelles (Aalénien)	Pas de restitution constatée

Sauveterre ouest: campagne de novembre 2002 - Tableau n° 1, 1ère partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-1 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 735	15	0,86	≤ 0,86	1,67	1 045,2	130,0 ng/ml	3,67	472,8
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 638	41	2,50	≤ 2,50	16,7	98,1	0,412 ng/ml	25,2	65,0
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 755	69	3,93	≤ 3,93					
12-2 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 735	15	0,86	≤ 0,86	1,17	1 483,8	84,0 nl/l 126,6 nl/l	4,17 29,2	416,1 59,4
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 638	41	2,50	≤ 2,50	18,1	90,5	1,77 nl/l	43,2	37,9
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 755	69	3,93	≤ 3,93					
12-3 Aveyron (début)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 650	167	6,30	≤ 6,30	62,6	42,3	2,247 ng/ml	69,6	38,1
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 590	133	8,36	≤ 8,36					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 010	173	4,31	≤ 4,31					

Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 290	163	3,80	≤ 3,80					
Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 750	148	3,12	≤ 3,12					

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 2, 1ère partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-1 Aveyron	186.10 ⁻⁶	5,44	426,3	318,8	≥ 64,38 ≥ 64,38 g	1,0	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émer- gences surveillées. Obtenir la R.I. du système traçage en vue d'interpréter le traçage 12-2	Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	Inédit
	40,3.10 ⁻⁶	317,9	45,9	45,2	≥ 2,02 ≥ 8,10 g	30,2				Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
12-2 Aveyron	18,7.10 ⁻⁶	24,74	123,8	70,1	≥ 60,2 ≥ 602 g	1,8	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Estimer le débit perdu par le ruisseau de Serre au profit du système karstique de Courti- naux I	Mise en évidence d'une faible contri- bution des pertes du Ruisseau de Serre à L'alimentation du système (~ 1%)	Inédit
	10,0.10 ⁻⁶	52,4	32,5	31,3	≥ 1,38 ≥ 69,0 g	18,0				Pas de relation mise en évidence	Inédit
12-3 Aveyron (début)	5,12.10 ⁻⁶	177,2	20,4	15,0	42,12 21,06 g	9,5	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio-	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émer- gences surveillées et calculer les paramètres du	Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit

						Sce de l'Aveyron Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,478 Y = 1923,803 Z = 735 m	Calcaire à rhynchonelles (Aalénien)	Pas de restitution constatée
12-5 Aveyron (début)	Perte du Soucis Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0662,520 Y = 1918,716 Z = 860 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	18 novembre 2002, 14h52 TU Q = 10 l/s	Uranine 500 g Brève	Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	21 novembre 2002, 15h00 TU 526 < Q < 734 l/s
						Sce de la Muraillese, Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,808 Y = 1920,053 Z = 750 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Bastide Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,770 Y = 1922,618 Z = 710 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 1, 2ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-3 Aveyron (fin)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	11 075	468	4,23	≤ 4,23					
12-4 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	10 211	455	4,46	≤ 4,46	95,5	106,9	0,313 ng/ml	105,8	96,6
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 260	120	5,31	≤ 5,31					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 080	154	5,00	≤ 5,00					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 010	160	3,99	≤ 3,99					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 250	150	3,53	≤ 3,53					

	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 610	135	2,93	≤ 2,93					
12-5 Aveyron (début)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	8 650	445	5,14	≤ 5,14	72,1	119,9	6,709 ng/ml	78,1	110,7
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 950	110	2,78	≤ 2,78					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 600	144	3,13	≤ 3,13					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	5 410	150	2,77	≤ 2,77					

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 2, 2ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-3 Aveyron (fin)							Parc Naturel Régional des Gds-Causses	Ecole Poly- technique Univ. Orléans	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les sces	Pas de relation mise en évidence	Inédit
12-4 Aveyron	18,8.10 ⁻⁶	110,0	93,5	92,8	19,0 9,50 g	20,5	Parc Naturel Régional des Grands Causses	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causses	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émurgences surveillées et calculer les paramètres du transit	Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit

										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
12-5 Aveyron (début)	36,9.10 ⁻⁶	88,1	102,5	98,2	22,1 110,5 g	18,9	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Polytechnique Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émergences surveillées et calculer les Paramètres du transit	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 3, 2ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de lère restitution Débit en l/s
12-5 Aveyron (fin)	Perte du Soucis Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0662,520 Y = 1918,716 Z = 860 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	18 novembre 2002, 14h52 TU Q = 10 l/s	Uranine 500 g Brève	Sce de Cayrac Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0659,881 Y = 1923,330 Z = 720 m	Calcaire à rhynchonelles (Aalénien)	Pas de restitution constatée
						Sce de l'Aveyron Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,478 Y = 1923,803 Z = 735 m	Calcaire à rhynchonelles (Aalénien)	Pas de restitution constatée
12-6 Aveyron	Aven du Serre des Grèzes présumé Sévérac-le-	X = 0661,700 Y = 1921,985 Z = 815 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	18 novembre 2002, 15h16 TU Injection de	AminoG acide 100 g Brève	Sce de la Murailles, Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,808 Y = 1920,053 Z = 750 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée

	Château (Aveyron)			15 000 l d'eau		Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Bastide Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,770 Y = 1922,618 Z = 710 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Cayrac Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0659,881 Y = 1923,330 Z = 720 m	Calcaire à rhynchonelles (Aalénien)	Pas de restitution constatée
						Sce de l'Aveyron Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,478 Y = 1923,803 Z = 735 m	Calcaire à rhynchonelles (Aalénien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
12-7 Aveyron	Perte des Sagnes Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,893 Y = 1919,215 Z = 870 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	5 mars 2003, 12h50 TU	Uranine 500 g Brève	Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	10 mars 2003, 2h TU 486 < Q < 511 l/s
						Sce de Bastide Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,770 Y = 1922,618 Z = 710 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
12-8 Aveyron (début)	Aven du col de la Fagette – Campagnac (Aveyron)	X = 0663,763 Y = 1933,093 Z = 860 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	8 avril 2003 8h35 TU – Injection de 12 000 l d'eau	Sulforhodamine G 500 g Durée : 20 mn	Sce de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimméridgien inf.)	16 avril 2003, 16h00 TU 237 < Q < 293 l/s

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 1, 3ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-5 Aveyron (fin)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	5 325	140	2,63	< 2,63					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	5 490	125	2,28	< 2,28					

12-6 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 480	65	1,87	< 1,87					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 860	99	3,46	< 3,46					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 000	105	3,50	< 3,50					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 260	95	4,20	< 4,20					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 195	80	3,64	< 3,64					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	9 610	400	4,16	< 4,16					
12-7 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	10 211	455	4,46	< 4,46	109,2	93,5	2,728 ng/ml	129,2	79,0
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 010	160	3,99	≤ 3,99					
12-8 Aveyron (début)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	14 450	438	3,03	≤ 3,03	199,4	72,5	0,398 ng/ml	277,4	52,1

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 2, 3ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-5 Aveyron (fin)							Parc Naturel Régional des Grands	Ecole Poly- Tech. Univ. Orléans (Labo.	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les sces	Pas de relation mise en évidence	Inédit

							Causse	Hydrogéol.) et Parc des Grds Causse	surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Inédit
12-6 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Polytechnique Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la doline et les émergences surveillées et calculer les Paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
12-7 Aveyron	4,76.10 ⁻⁶	186,1	60,4	54,9	58,1 290,3 g	33,6	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Polytech. Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc des Grds Causse	Vérifier le résultat du traçage du 18 novembre 2002 et tester l'éventualité d'une diffluence vers la sce Bastide	Confirmation du traçage du 18 novembre 2002	Bailly-Comte V. (2003), Montéty de V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	
12-8 Aveyron (début)	2,44.10 ⁻⁶	324,5	46,8	44,5	7,85 39,3 g	18,1	Parc Naturel Régional des Gds Causse	Ecole Polytech. Univ. Orléans.	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les sces	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Bailly-Comte V. (2003)... ...voir la suite

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 3, 3ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-8 Aveyron (fin)	Aven du col de la Fagette – Campagnac (Aveyron)	X = 0663,763 Y = 1933,093 Z = 860 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	8 avril 2003 8h35 TU – Injection de 12 000 l d'eau	Sulforhodamine G 500 g Durée : 20 mn	Pas de Souci Les Vignes (Lozère)	X = 0671,990 Y = 1921,344 Z = 426 m	Dolomie (Kimméridgien inf.)	
						Sce de Fontmaure St-Georges-de-Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	
						Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de relation mise en évidence
						Sce de Serre Campagnac (Aveyron)	X = 0659,728 Y = 1933,628 Z = 701	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de relation mise en évidence
						Sce de Roquaizou Banassac (Lozère)	X = 0666,531 Y = 1933,991 Z = 730 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de relation mise en évidence
12-9 Aveyron	Aven du Claux Pouchut – Campagnac (Aveyron)	X = 0662,620 Y = 1932,515 Z = 815 m	Dolomies brunes (Bajocien)	8 avril 2003 11h-10 TU - Injection de 12 000 l d'eau	Pyranine 1000 g Brève	Les mêmes exutoires qu'à l'occasion du traçage de l'aven du col de la Fagette (12-8 Aveyron)	Voir traçage 12-8 Aveyron	Voir traçage 12-8 Aveyron	Les moyens standard d'analyse (spectrofluorimétrie et chromatographie ionique pour Br) n'ont pas permis de retrouver les traceurs
12-10 Aveyron	Aven de Combe-Longue – Campagnac (Aveyron)	X = 0662,010 Y = 1930,793 Z = 794 m	Altérites sur calc. lithogra. du Bathonien	8 avril 2003 14h-38 TU - Injection de 20 000 l d'eau	10 000 g de BrNa, soit 7766 g de Br ⁻ Brève				
12-11 Aveyron	Effluent restaurant de Bonsecours Séverac-le-Chât.	X = 0662,063 Y = 1929,728 Z = 814 m	Altérites sur calc. lithogra. du Bathonien	8 avril 2003 12h-20 TU Débit inconnu	AminoG acide 1000 g Brève				
48 1 Lozère	Effluent de la station d'épuration du Masegros (Lozère)	X = 0667,399 Y = 1922,543 Z = 861 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	30 juin 2003, 12h15 TU Ques l/s	Uranine 250 g Brève	Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	6 juillet 2003, 13h00 TU 464 < Q < 465 l/s

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 -Tableau n° 1, 4ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-8 Aveyron (fin)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	14 350	434	3,02	≤ 3,02					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	15 100	445	2,95	≤ 2,95					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	13 600	431	3,17	≤ 3,17					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 060	159	3,92	≤ 3,92					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 910	130	4,47	≤ 4,47					
12-9 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	Valeurs voisines de celles relatives au traçage de l'aven du col de la Fagette	Valeurs voisines de celles relatives au traçage de l'aven du col de la Fagette	Valeurs voisines de celles relatives au traçage de l'aven du col de la Fagette	Valeurs voisines de celles relatives au traçage de l'aven du col de la Fagette					
12-10 Aveyron	Chromatographie ionique	7									
12-11 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7									
48 1 Lozère	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 560	446	9,78	≤ 9,78	144,6	31,5	6,064 ng/ml	170,1	26,8

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 2, 4ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-8 Aveyron (fin)							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la doline et les émergences surveillées et calculer les Paramètres du transit		Bailly-Comte V. (2003), Montéty de V. (2003), Poulain D. (2003)
12-9 Aveyron						Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la doline et les émergences surveillées et calculer les Paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence, vrai- semblablement en raison des faibles masses de traceur injectées et de l'ad- sorption sur les ma- tériaux altéritiques présents	Bailly-Comte V. (2003), Montéty de V. (2003), Poulain D. (2003)	
12-10 Aveyron											
12-11 Aveyron											

48 1 Lozère	8,20.10 ⁻⁶	189,6	24,5	24,0	137,3 343,2 g	69,5				Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Poulain D. (2003)

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2002 - Tableau n° 3, 4ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-12 Aveyron	Perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0659,313 Y = 1919,653 Z = 850 m	Calcaire du Bathonien inférieur	26 juin 2003, 9h45 TU Q =	Uranine 10 g Brève	Sce de la Muraillese, Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,808 Y = 1920,053 Z = 750 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	3 juillet 2003, 20h00 TU Q ~ 0,25 l/s
						Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de l'aire de repos Sévérac-le-Château	X = 0658,940 Y = 1920,025 Z = 780 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution Constatée 0,02 l/s
						Sce du grand virage Sévérac-le-Château	X = 0658,690 Y = 1919,390 Z = 800 m	Contact Permien -Carbonifère	Pas de restitution Constatée 0,09 l/s
12-13 Aveyron	Perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0659,313 Y = 1919,653 Z = 850 m	Calcaire du Bathonien inférieur	26 juin 2003, 9h45 TU Q =	AminoG acide 10 g Brève	Sce de la Muraillese, Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,808 Y = 1920,053 Z = 750 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution Constatée Q ~ 0,25 l/s
						Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée

						Sce de l'aire de repos Sévérac-le-Château	X = 0658,940 Y = 1920,025 Z = 780 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution Constatée 0,02 l/s
						Sce du grand virage Sévérac-le-Château	X = 0658,690 Y = 1919,390 Z = 800 m	Contact Permien - Carbonifère	Pas de restitution Constatée 0,09 l/s
12-14 Aveyron	Perte de la source du Verlenque amont Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,908 Y = 1921,258 Z = 720 m	Dolomies brunes (Bajocien)	5 août 2003, 12h40 Q < 5 l/s	AminoG acide 10 g Brève	Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Bastide Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,770 Y = 1922,618 Z = 710 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée

Sauveterre ouest : campagne de juin-juillet 2003 - Tableau n° 1, 5ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-12 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	650	100	15,4	≤ 15,4	178,3	3,65	0,201 ng/ml	452,3	1,44
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 860	134	7,2	≤ 7,2					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	530	70	13,2	≤ 13,2					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	675	50	7,41	≤ 7,41					
12-13 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	650	100	15,4	≤ 15,4					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 860	134	7,2	≤ 7,2					

	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	530	70	13,2	≤ 13,2					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	675	50	7,41	≤ 7,41					
12-14 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	200	4	0,20	≤ 0,2					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 365	10	0,73	≤ 0,73					

Sauveterre ouest : campagne de juin-juillet 2003 - Tableau n° 2, 5ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-12 Aveyron	0,61.10 ⁻⁶	530,8	1,4	1,2	0,82 0,08	0,7	Parc Naturel Régional des Grands Causses	Ecole Polytechnique Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causses	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émergences surveillées et calculer les paramètres du transit	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Bailly-Comte V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)
12-13 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands	Ecole Polytechnique Univ. Orléans	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émer-	Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)

							Causses	(Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causse	gences surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)
12-14 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Polytech Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Nat. Rég. des Gds Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les sces surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	Bailly-Comte V. (2003)

Sauveterre ouest : campagne de juin-juillet 2003 - Tableau n° 3, 5ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-15 Aveyron	Perte du Verlenque en aval de la source de la Muraillese Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,908 Y = 1920,280 Z = 755 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Du 5 août 2003, 13h45 au 7 août 2003, ~ 12h Q =	Eosine gamma 500 g Continue	Sce amont de Verlenque – Sévérac-le-Château (Aveyr.)	X = 0658,883 Y = 1921,335 Z = 720 m	Dolomies brunes (Bajocien)	8 août 2003, 21h TU Q < 5 l/s
						Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Bastide Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,770 Y = 1922,618 Z = 710 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution Constatée les 7 et 8 août 2003
12-16 Aveyron	Perte du Trou du Souci Pierrefiche	X = 0648,888 Y = 1937,829 Z = 690 m	Calcarénites Lotharingien	18 juin 2003, 14h30 TU	AminoG acide 25 g Brève	Sce de Glassac Pierrefiche (Aveyron)	X = 0648,604 Y = 1938,444 Z = 588 m	Dolomies Hettangien-Sinémurien	18 juin 2003, 20h30 TU Q = 31 l/s

	(Aveyron)												Sce de la Borie Pierrefiche (Aveyron)	X = 0648,6 ?? Y = 1938,4 ?? Z = 5 ?? m	Dolomies Hettangien- Sinémurien	Pas de restitution constatée
													Sce des Douzes Pierrefiche (Aveyron)	X = 0648,6?? Y = 1938,4 ?? Z = 5 ?? m	Dolomies Hettangien- Sinémurien	Pas de restitution constatée

Sauveterre ouest : campagne de juin-juillet 2003 - Tableau n° 1, 6ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-15 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	980	35	3,57	≤ 3,57	79,3	12,4	1,187 ng/ml	499,3	1,96
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 180	39	3,31	≤ 3,31					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 345	45	1,91	≤ 1,91					
12-16 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	674	102	15,1	≤ 15,1	6,0	112,3	54,94 ng/ml	8,0	84,3

	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7									
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7									

Sauveterre ouest : campagne de juin-juillet 2003 - Tableau n° 2, 6ème partie

N° d'identification du traçage	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-15 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Polytechnique Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émergences surveillées, calculer les paramètres du transit et la contribution de la perte au débit du ou des exutoires	Contribution de la perte au débit de la sce estimée à 0,05 %	Bailly-Comte V. (2003)
						Pas de relation mise en évidence					
						Pas de relation mise en évidence					

12-16 Aveyron	79,0.10 ⁻⁶	11,2	71,2	60,4	84,6 21,1	1,8	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émer- gences surveillées, calculer les paramè- tres du transit et la contribution de la perte au débit du ou des exutoires	Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	De Montety V. (2003)
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	

Sauveterre ouest : campagne de juin-juillet 2003 - Tableau n° 3, 6ème partie

N° d'identifica- tion du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-21 Aveyron	Aven de l'A 75 Sévérac-le- Château (Aveyron)	X = 0661,348 Y = 1927,888 Z = 870 m	Calcaire litho- graphique Kimmeridgien	17 novembre 2003, 9h36 TU	Uranine 5 000 g Brève	Sce de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimmerid- gien inf.)	24 novembre 2003, 15h00

			inférieur	Injection de 7000 l d'eau entre 9h31 et 9h54 TU		<table border="1"> <tr> <td>Scie de Fontmaure St-Georges-de-Lévêjac (Lozère)</td> <td>X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m</td> <td>Calcaires en plaquettes (Bathonien)</td> <td>Ech. manuel positif le 25 novembre 2003, 9h30</td> </tr> <tr> <td>Scie de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)</td> <td>X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m</td> <td>Calcaire à chailles (Bajocien)</td> <td>Pas de restitution constatée</td> </tr> <tr> <td>Scie du Ségala Lapanouse (Aveyron)</td> <td>X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m</td> <td>Calcaire lithographique (Bathonien)</td> <td>20 novembre 2003, 11h00</td> </tr> <tr> <td>Scie de la Roque Lapanouse (Aveyron)</td> <td>X = 0656,675 Y = 1926,003 Z = 661 m</td> <td>Marnes et calcaires du Carixien</td> <td>Pas de restitution constatée</td> </tr> <tr> <td>Scie de Lestang Captage (buse) – St-Saturnin-de-Lenne</td> <td>X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 870 m</td> <td>Dolomies brunes (Bajocien)</td> <td>Pas de restitution constatée</td> </tr> </table>	Scie de Fontmaure St-Georges-de-Lévêjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	Ech. manuel positif le 25 novembre 2003, 9h30	Scie de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée	Scie du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	20 novembre 2003, 11h00	Scie de la Roque Lapanouse (Aveyron)	X = 0656,675 Y = 1926,003 Z = 661 m	Marnes et calcaires du Carixien	Pas de restitution constatée	Scie de Lestang Captage (buse) – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 870 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
Scie de Fontmaure St-Georges-de-Lévêjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	Ech. manuel positif le 25 novembre 2003, 9h30																							
Scie de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée																							
Scie du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	20 novembre 2003, 11h00																							
Scie de la Roque Lapanouse (Aveyron)	X = 0656,675 Y = 1926,003 Z = 661 m	Marnes et calcaires du Carixien	Pas de restitution constatée																							
Scie de Lestang Captage (buse) – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 870 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée																							
12-22 Aveyron (début)	Perte des Croses St-Saturnin-de-Lenne (Aveyron)	X = 0654,172 Y = 1932,268 Z = 748 m	Altérites sur dolomies du Bathonien-Oxfordien	18 novembre 2003, 13h00 TU Injection de 3000 l d'eau le matin et de 3000 l lors de l'injection du traceur	Iodure de potassium : 6000 g I = 4587 g Brève	<table border="1"> <tr> <td>Scie de Lestang Captage (buse) – St-Saturnin-de-Lenne</td> <td>X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 650 m</td> <td>Dolomies brunes (Bajocien)</td> <td>22 novembre 2003, 1h00</td> </tr> <tr> <td>Scie de Lestang Saint-Saturnin – St-Saturnin-de-Lenne</td> <td>X = 0654,560 Y = 1934,325 Z = 655 m</td> <td>Dolomies brunes (Bajocien)</td> <td>Pas de restitution constatée</td> </tr> <tr> <td>Scie du Ségala Lapanouse (Aveyron)</td> <td>X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m</td> <td>Calcaire lithographique (Bathonien)</td> <td>Pas de restitution constatée</td> </tr> <tr> <td>Scie de Buzareingues Buzeins (Aveyron)</td> <td>X = 0653,523 Y = 1929,625 Z = 670 m</td> <td>Calcarénites massives Lotharingien</td> <td>Pas de restitution constatée</td> </tr> <tr> <td>Scie de Mayrinhac Vimenet (Aveyron)</td> <td>X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m</td> <td>Calcaire lithographique (Bathonien)</td> <td>Pas de restitution constatée</td> </tr> </table>	Scie de Lestang Captage (buse) – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 650 m	Dolomies brunes (Bajocien)	22 novembre 2003, 1h00	Scie de Lestang Saint-Saturnin – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,560 Y = 1934,325 Z = 655 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée	Scie du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée	Scie de Buzareingues Buzeins (Aveyron)	X = 0653,523 Y = 1929,625 Z = 670 m	Calcarénites massives Lotharingien	Pas de restitution constatée	Scie de Mayrinhac Vimenet (Aveyron)	X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
Scie de Lestang Captage (buse) – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 650 m	Dolomies brunes (Bajocien)	22 novembre 2003, 1h00																							
Scie de Lestang Saint-Saturnin – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,560 Y = 1934,325 Z = 655 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée																							
Scie du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée																							
Scie de Buzareingues Buzeins (Aveyron)	X = 0653,523 Y = 1929,625 Z = 670 m	Calcarénites massives Lotharingien	Pas de restitution constatée																							
Scie de Mayrinhac Vimenet (Aveyron)	X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée																							

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 1, 7ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-21 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	12 500	448	3,58	< 3,34	173,4	72,1	0,144 ng/ml	266,2	47,0

	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	12 080	441	3,65	< 3,65	182 (par excès)	66,4 (par défaut)	0,187 ng/ml	267,7 (observée)	45,1
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	12 600								
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	6 360								
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	5 035								
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	9 350								
12-22 Aveyron (début)	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	2 120								
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	2 140								
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	3 025								
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	2 680								
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	5 290								

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 2, 7ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-21 Aveyron	3,18.10 ⁻⁶	259,8	50,9	48,1	0,54 26,8 g	60,8	Parc Naturel Régional des Grands	Ecole Polytechnique Univ. Orléans	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émer-	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Blondel T., Huynh C. (2004)

	Non calculable	Non calculable	Non calculable	Non calculable	Non calculable		Causses	(Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causse	gences surveillées et calculer les paramètres du transit	Relation mise en évidence. Paramètres estimés	
										Pas de relation mise en évidence	
										Relation possible par diffluence, à confirmer ultérieurement	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
12-22 Aveyron (début)	13,7.10 ⁻⁶	113,1	19,2	18,7	285,7 13 186,3 g	43,7	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Polytechnique Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émergences surveillées et calculer les paramètres du transit	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Blondel T., Huynh C. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 3, 7ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
--	--------------------------	--------------------------------	---------------------	--	---	--------------------------------------	--------------------------------	---------------------	--

12-22 Aveyron (fin)	Perte des Croses St-Saturnin-de- Lenne (Aveyron)	X = 0654,172 Y = 1932,268 Z = 748 m	Altérites sur dolomies du Bathonien- Oxfordien	18 novembre 2003, 13h00 TU Injection de 3000 l d'eau le matin et de 3000 l lors de l'injection du traceur	Iodure de potas- sium : 6000 g I = 4587 g Brève	Scie de Tantayrou	X = 0654,385 Y = 1928,871 Z = 655 m	Calcarénites massives Lotharingien	Pas de restitution constatée
						Scie des Esparses Viminet (Aveyron)	X = 0648,290 Y = 1932,850 Z = 630 m	Dolomies Bathonien- Oxfordien	Pas de restitution constatée
						Scie de la Roque Lapanouse (Aveyron)	X = 0656,675 Y = 1926,003 Z = 661 m	Marnes et calcaires du Carixrien	Pas de restitution constatée
						Scie de la vasque de La Roque – Lapa- nouse (Aveyron)			Pas de restitution constatée
						Scie de Moulin-Gary Lapanouse (Aveyron)			Pas de restitution constatée
						Scie de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimmérid- gien inf.)	Pas de restitution constatée
						Scie de Fontmaure St-Georges-de- Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	Pas de restitution constatée
						Scie de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Scie du Parisien Les Vignes (Lozère)	X = 0671,096 Y = 1919,796 Z = 413 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Scie des Fonds Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0661,693 Y = 1926,696 Z = 770 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
Scie du Rouquet Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,623 Y = 1927,495 Z = 755 m	Dolomie Hettangien Sinémurien	Pas de restitution constatée						

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 1, 8ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-22 Aveyron (fin)	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 2, 8ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-22 Aveyron (fin)							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émer- gences surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Blondel T., Huynh C. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 3, 8ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-23 Aveyron	Aven des Juments (ou des Aygues)	X = 0652,360 Y = 1931,022 Z = 727m	Dolomies du Bathonien-Oxfordien	17 novembre 2003, 13h45 TU à - 45 m Injection de 5 000 à 7 000 l d'eau	Eosine gamma 250 g + 250 g 40 mn après	Sce du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	1 ^{er} décembre 2003, 8h00
	Toutes les autres Emergences surveillées dans le cadre du traçage 12-16					Voir traçage 12-16		Voir traçage 12-16	Pas de restitution constatée
12-24 Aveyron	Aven de Malpertus Lapanouse (Aveyron)	X = 0657,039 Y = 1928,999 Z = 805m	Calcaire lithographique (Bathonien)	18 novembre 2003, 10h37 TU à - 10 m Injection de 6000 L d'eau entre 10h35 et 10h40	AminoG acide 3 500 g Brève	Sce du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	20 novembre 2003, 7h00 213 l/s
						Toutes les autres Emergences surveillées dans le cadre du traçage 12-16		Voir traçage 12-16	Voir traçage 12-16
12-25 Aveyron	Aven du Mas de Barthe Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,290 Y = 1927,726 Z = 810m	Dolomies du Bathonien-Oxfordien	17 novembre 2003, 11h25 TU Injection de 9000 L d'eau entre 11h29 et 11h50	Sulforhodamine G 1 000 g Brève	Toutes les émergences surveillées dans le cadre du traçage 12-16	Voir traçage 12-16	Voir traçage 12-16	Analyse approfondie des résultats en cours
12-26 Aveyron	Aven des Claux St-Saturnin-de-Lenne (Aveyron)	X = 0656,103 Y = 1931,353 Z = 755m	Dolomies du Bathonien-Oxfordien	18 novembre 2003, 8h55 TU Injection de 3000 L d'eau à partir de 8h50	Pyranine 1 014 g Brève	Toutes les émergences surveillées dans le cadre du traçage 12-16	Voir traçage 12-16	Voir traçage 12-16	Analyse approfondie des résultats en cours

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 1, 9ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-23 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 240	68	2,10	< 0,71	330,3	9,81	0,152 ng/ml	339,3	9,55
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°					
12-24 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 925	110	5,72	< 5,19	44,4	43,4	3,128 ng/ml	60,4	31,9
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7									
12-25 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°					
12-26 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°	Voir annexe n°					

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 2, 9ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-23 Aveyron	17,6.10 ⁻⁶	349,6	9,3	9,3	2,90 14,52 g	154,8	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les émer- gences surveillées et calculer les paramètres du transit	Relation possible, à confirmer ultérieu- rement	Blondel T., Huynh C. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
12-24 Aveyron	11,9.10 ⁻⁶	68,6	29,4	28,0	1,42 49,7 g	32,3	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les émer- gences surveillées et calculer les paramètres du transit	Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	Blondel T., Huynh C. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
12-25 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et PNR Gds Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émer- gences surveillées et calculer les para- mètres du transit	Analyse appro- fondie des résultats en cours	Blondel T., Huynh C. (2004)
12-26 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands	Ecole Poly- technique Univ. Orléans	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les émer-	Analyse appro- fondie des résultats en cours	Blondel T., Huynh C. (2004)

							Causses	(Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causses	gences surveillées et calculer les paramètres du transit		
--	--	--	--	--	--	--	---------	--	--	--	--

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 3, 9ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-27 Aveyron	Aven du puech de Montgrand St-Saturnin-de-Lenne (Aveyron)	X = 0654,286 Y = 1930,463 Z = 880m	Dolomies du Bathonien-Oxfordien	18 novembre 2003, 9h22 TU Injection de 3000 L d'eau entre 9h20 et 9h38	Bromure de potassium : 7 000 g Br = 4 665 g Brève	Toutes les émergences surveillées dans le cadre du traçage 12-16	Voir traçage 12-16	Voir traçage 12-16	Analyse approfondie des résultats en cours

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 1, 10ème partie

N° d'identification du traçage	Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-27	Aveyron	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7									

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 2, 10ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-27 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les émer- gences surveillées et calculer les paramètres du transit	Analyse appro- fondie des résultats en cours	Blondel T., Huynh C. (2004)

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2003 - Tableau n° 3, 10^{ème} partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1 ^{ère} restitution Débit en l/s
48 - 2 Lozère	Aven de la Peyrine Mostuéjous (Lozère)	X = 0670,487 Y = 1914,856 Z = 875 m	Dolomies Bathonien supérieur	29 mars 2004, 17h00 TU dans la vasque à - 40 m Persistance du traceur pendant Un mois	Uranine 100 g Brève	Sce du Mas de Lafon 1 - Mostuéjous (Lozère)	X = 0670,875 Y = 1913,603 Z = 399 m	Calcaires et dolomies Bajocien sup.	Pas de restitution constatée
						Sce du Mas de Lafon 2 - Mostuéjous (Lozère)	X = 0671,033 Y = 1914,005 Z = 450 m	Calcaires Bathonien inférieur	Pas de restitution constatée
12-28 Aveyron	Aven d'Agues Vimenet (Aveyron)	X = 0649,710 Y = 1933,784 Z = 790 m	Dolomies Bathonien-Oxfordien	6 mai 2004, 10h50 TU au milieu du deuxième puits, à - ??? m de profondeur Q ~ 0,5 l/s	Uranine 130 g Brève	Sce des Esparses Vimenet (Aveyron)	X = 0648,290 Y = 1932,850 Z = 630 m	Dolomies Bathonien-Oxfordien	10 mai 2004, 11h00 TU Q = 231 l/s
						Sce de Mayrinhac Vimenet (Aveyron)	X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
12-29 Aveyron	Aven de Cassagnes Buzains (Aveyron)	X = 0650,430 Y = 1931,700 Z = 720 m	Dolomies Bathonien-Oxfordien	24 mai 2004, 17h45 TU au fond de la salle	Eosine gamma 2500 g Brève	Sce de Mayrinhac Vimenet (Aveyron)	X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	25 mai 2004, 15h00 TU Q = 250 l/s

				Terminale, à - m. Q ~ 0,2 l/s Injection de 3000 L d'eau		Sce des Esparses Vimenet (Aveyron)	X = 0648,290 Y = 1932,850 Z = 630 m	Dolomies Bathonien- Oxfordien	Pas de restitution constatée
						Sce du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
12-30 Aveyron (début)	Aven des Trois Communes Buzeins (Aveyron)	X = 0650,473 Y = 1933,430 Z = 803 m	Dolomies Bathonien- Oxfordien	3 juin 2004, 8h45 TU au fond de l'aven, à - 3 m de Profondeur Injection de 3000 L d'eau	Sulforhodamine B 500 g Brève	Sce de Mayrinhac Vimenet (Aveyron)	X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
						Sce des Esparses Vimenet (Aveyron)	X = 0648,290 Y = 1932,850 Z = 630 m	Dolomies Bathonien- Oxfordien	Pas de restitution constatée
						Sce du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Lestang Captage (buse) – St- Saturnin-de-Lenne	X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 650 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée

Sauveterre ouest : campagne de mars - juin 2004 - Tableau n° 1, 11ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
48 – 2 Lozère	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 395	476	34,1	< 31,3					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 030	425	41,3	< 37,3					
12-28 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 700	160	9,41	< ,	90,2	19,5	0,129 ng/ml	102,2	17,2
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 635	145	8,87	< ,					
12-29 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 740	75	4,31	< ,	19,25	90,4	443,5 ng/ml	25,3	68,8

	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 460	90	3,66	< ,					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	5 225	25	0,48	< ,					
12-30 Aveyron (début)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 915	158	8,25	< 8,09					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 265	173	7,64	< 7,51					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	6 200	108	1,74	< 1,69					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 140	153	3,70	< 3,62					

Sauveterre ouest : campagne de mars - juin 2004 - Tableau n° 2, 11ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
48 - 2 Lozère							Parc Naturel Régional des Grands Causses	Ecole Polytech Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Nat. Rég. des Gds Causses	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les sces surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Blondel T. (2004)
						Pas de relation mise en évidence					
12-28 Aveyron	11,5.10 ⁻⁶	120,6	14,9	14,6	1,97 2,56 g	58,2	Parc Naturel Régional des Grands Causses	Ecole Polytech Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Nat. Rég. des Gds Causses	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les sces surveillées et calculer les paramètres du transit	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Blondel T. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
12-29 Aveyron	39,8.10 ⁻⁶	46,5	59,6	38,3	111,4 2785,4	23,2	Parc Naturel Régional des Grands	Ecole Polytech Univ. Orléans (Labo. Hydro-	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les sces	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Blondel T. (2004)

							Causse	géol.) et Parc Nat. Rég. des Gds Causse	surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
12-30 Aveyron (début)							Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Polytech Univ. Orléans (Labo. Hydro-géol.) et Parc Nat. Rég. des Gds Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les sces surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Blondel T. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	

Sauveterre ouest : campagne de mars - juin 2004 - Tableau n° 3, 11ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-30 Aveyron (fin)	Aven des Trois Communes Buzains (Aveyron)	X = 0650,473 Y = 1933,430 Z = 803 m	Dolomies Bathonien-Oxfordien	3 juin 2004, 8h45 TU au fond de l'aven, à - 3 m de Profondeur Injection de 3000 L d'eau	Sulforhodamine B 500 g Brève	Sce de Lestang Saint-Saturnin - St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,560 Y = 1934,325 Z = 655 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sces d'Orbis ouest et est - St-Saturnin-de-Lenne (Aveyron)	X = 0651,513 Y = 1934,940 Z = 660m(est)	Calcaires (Aalénien)	Pas de restitution constatée le
12-31 Aveyron	Aven de Belhomme Buzains (Aveyron)	X = 0651,925 Y = 1932,778 Z = 801 m	Dolomies Bathonien-Oxfordien	3 juin 2004, 7h00 TU au fond de l'aven, à - 2,5 m de profondeur Injection de 3000 L d'eau	Bromure de potassium : 5000 g Br = 3332 g Brève	Sce de Mayrinhac	X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
						Vimenet (Aveyron)			
						Sce des Esparses	X = 0648,290 Y = 1932,850 Z = 630 m	Dolomies Bathonien-Oxfordien	Pas de restitution constatée
						Vimenet (Aveyron)			

																		Sce du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Pas de restitution constatée
																		Sce de Lestang Captage (buse) – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 650 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
																		Sce de Lestang Saint-Saturnin – St-Saturnin-de-Lenne	X = 0654,560 Y = 1934,325 Z = 655 m	Dolomies brunes (Bajocien)	Pas de restitution constatée
																		Sces d'Orbis ouest et est – St-Saturnin-de-Lenne (Aveyron)	X = 0651,513 Y = 1934,940 Z = 660m(est)	Calcaires (Aalénien)	Pas de restitution constatée le

Sauveterre ouest : campagne de mars - juin 2004 - Tableau n° 1, 12ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-30 Aveyron (fin)	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	4 170	148	3,55	< 3,48					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	1 835	143	7,79	< 7,63					
12-31 Aveyron	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	3 075	156	5,07	< 5,01					
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	3 630	171	4,71	< 4,66					
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	4 710	106	2,25	< 2,21					
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	3 025	151	4,99	< 4,93					
	Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	3 055	146	4,78	< 4,71					

Chromatographie ionique sur échant. d'eau	7	2 200	141	6,41	< 6,32					
---	---	-------	-----	------	--------	--	--	--	--	--

Sauveterre ouest : campagne de mars - juin 2004 - Tableau n° 2, 12ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-30 Aveyron (fin)							Parc Naturel Régional des Grands Causses	Ecole Polytech Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Nat. Rég. des Gds Causses	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les sces surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Blondel T. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
12-31 Aveyron							Parc Naturel Régional des Grands Causses	Ecole Polytech Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Nat. Rég. des Gds Causses	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les sces surveillées et calculer les paramètres du transit	Pas de relation mise en évidence	Blondel T. (2004)
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
										Pas de relation mise en évidence	
	*										

Sauveterre ouest : campagne de mars - juin 2004 - Tableau n° 3, 12ème partie

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12-32 Aveyron	Aven de la carrière du Clos-Haut Campagnac (Aveyron)	X = 0662,813 Y = 1933,308 Z = 804 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	22 novembre 2004, 15h37 TU Injection de 26 000 l d'eau (5 000 l avant l'injection du traceur, 21 000 après)	Uranine 400 g	Sce de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimméridgien inf.)	30 novembre 2004, 18h00 TU 217 < Q < 233
						Sce de Fontmaure St-Georges-de-Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	2 décembre 2004, 17h00 TU 136 < Q < 432 l/s
						Sce de Serre Campagnac (Aveyron)	X = 0659,728 Y = 1933,628 Z = 701	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Roquaizou Banassac (Lozère)	X = 0666,531 Y = 1933,991 Z = 730 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	?
12-33 Aveyron	Perte de la fontaine de Saint-Urbain Campagnac (Aveyron)	X = 0662,348 Y = 1934,753 Z = 817 m	Calcaire à chailles (Bajocien) sous couverture d'altérites	22 novembre 2004, 14h05 TU Débit ~ 0,25 l/s	Sulforhodamine B 1000 g	Sce de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimméridgien inf.)	1er décembre 2004, 14h00 TU 225 < Q < 267 l/s
						Sce de Fontmaure St-Georges-de-Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	3 décembre 2004, 11h00 TU 355 < Q < 1692 l/s
						Sce de Serre Campagnac (Aveyron)	X = 0659,728 Y = 1933,628 Z = 701	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée
						Sce de Roquaizou Banassac (Lozère)	X = 0666,531 Y = 1933,991 Z = 730 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	Pas de restitution constatée

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2004 - Tableau n° 1, 13ème partie

N° d'identification du traçage Département	Méthode de recherche et de dosage du traceur	Degré de fiabilité du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h
12-32 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	15 183	382	2,52	≤ 2,18	194,4	78,1	0,370 ng/ml	236,1	64,3

	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	14 362	375	2,61	≤ 2,26	241,4	59,5	0,125 ng/ml	301,4	47,7
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 100	103	3,32	≤ 3,32					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 780	74	1,96	≤ 0,63					
12-33 Aveyron	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	16 631	395	2,38	≤ 2,38	215,9	77,0	0,812 ng/ml	268,9	61,8
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	15 776	388	2,46	≤ 2,46	260,9	60,5	0,182 ng/ml	344,9	45,7
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	2 850	116	4,07	≤ 4,07					
	Spectrofluorimétrie sur échant. d'eau	7	3 760	87	2,31	≤ 2,31					

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2004 - Tableau n° 2, 13ème partie

N° d'identification du traçage Département	D.T.S. maxi en s ⁻¹	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moy- enne des drains en m ²	Maître d'ouvrage	Opérateur	Objectif du traçage	Conséquences du résultat du traçage	Bibliographie
12-32 Aveyron	5,00.10 ⁻⁶	276,4	57,2	54,9	≥ 4,14 ≥ 16,6 g	14,7	Parc Naturel Régional des Grands Causse	Ecole Poly- technique Univ. Orléans (Labo. Hydro- géol.) et Parc Naturel Régio- nal des Grands Causse	Tester l'éventualité d'une relation entre l'aven et les émergences surveillées	Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	Inédit
	3,23.10 ⁻⁶	317,9	45,9	45,2	≥ 2,02 ≥ 8,10 g	30,2				Relation mise en évidence. Paramè- tres calculés	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit

										Relation très douteuse. Traçage à rééditer	Inédit
12-33 Aveyron	1,75.10 ⁻⁶	382,7	47,4	43,5	≥ 10,65 ≥ 106,5 g	18,6	Parc Naturel Régional des Grands Causses	Ecole Polytechnique Univ. Orléans (Labo. Hydrogéol.) et Parc Naturel Régional des Grands Causses	Tester l'éventualité d'une relation entre la perte et les émergences surveillées	Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Inédit
	0,40.10 ⁻⁶	468,1	37,2	33,7	≥ 2,42 ≥ 24,2 g	33,4				Relation mise en évidence. Paramètres calculés	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit
										Pas de relation mise en évidence	Inédit

Sauveterre ouest : campagne de novembre 2004 - Tableau n° 3, 13ème partie

1.4.3 DTS : explications et théorie

DISTRIBUTION DES TEMPS DE SEJOUR

La fonction distribution des temps de séjour, désignée par le sigle D.T.S., fournit le pourcentage de la masse totale de traceur restituée sortant par unité de temps de l'exutoire surveillé, en fonction du temps de séjour dans le système traçage. Soient $C(t)$ et $Q(t)$ la concentration et le débit au temps t , la D.T.S. correspond donc à la fonction débit massique de traceur normée par rapport à la masse restituée :

$$h(t) = \frac{Q(t)C(t)}{\int_{t=0}^{t=t_f} Q(t)C(t)dt}$$

Avec $t = 0$ à l'instant de l'injection
Et $t = t_f$ à la fin de la restitution

Toutes les D.T.S. engendrent des surfaces égales à 1, ce qui les rend directement comparables. Il en découle également que la forme de la D.T.S. peut être, en première approximation, simplement caractérisée par sa valeur maximale. L'étalement de la D.T.S. étant lié aux pertes de charge subies par le volume d'eau tracé en déplacement, cette valeur renseigne sur la plus ou moins grande facilité du transit du traceur dans le système traçage. Les relations étroites existant entre la valeur maximale de la D.T.S. et d'autres paramètres (débit, temps moyen de séjour, etc..) confèrent à cette dernière un très grand intérêt.

Le calcul de la fonction D.T.S. nécessite la connaissance du débit de l'exutoire (ou des exutoires) où s'effectue la restitution, depuis l'injection jusqu'à la fin de cette dernière. Cela suppose, dans la grande majorité des cas de traçage, l'installation préalable à l'opération d'un équipement hydrométrique dans tous les points où cette restitution est envisageable. Pour des raisons pratiques et économiques, la mise en place d'un tel dispositif est le plus souvent impossible à réaliser, ce qui pourrait laisser penser que la connaissance de la D.T.S. et des paramètres qui en découlent est en général inaccessible. En fait, il faut observer que lorsque le débit de l'exutoire du système traçage est constant, la forme de la D.T.S. est identique à celle de la courbe de concentration normée et qu'elle peut alors s'écrire :

$$h(t) = \frac{C(t)}{\int_{t=0}^{t=t_f} C(t)dt}$$

Avec $t = 0$ à l'instant de l'injection
et $t = t_f$ à la fin de la restitution

Si le débit de l'exutoire n'a pas présenté, pendant la restitution du traceur, de variations importantes (supérieures à 20% par exemple), il est possible de réaliser une estimation tout à fait acceptable de la fonction D.T.S. et des paramètres qui en découlent. Cette

possibilité a été largement utilisée à l'occasion de tous les traçages de cet inventaire ayant permis l'obtention de la fonction concentration = f(temps).

Rubrique 3 : Temps moyen de séjour en h.

Le temps moyen de séjour (ou moment d'ordre 1 de la D.T.S.) de formule :

$$\bar{t}_s = \int_{t=0}^{t=t_f} t h(t) dt$$

correspond à l'abscisse du centre de gravité de la D.T.S. repérée à partir de l'instant de l'injection (ou, en toute rigueur, à partir du centre de gravité de la D.T.S. au point d'injection si cette dernière n'est pas brève). Le centre de gravité de la D.T.S. n'est pas, mathématiquement, déterminé de manière biunivoque par la forme de cette dernière : si à une D.T.S. correspond un seul centre de gravité, un centre de gravité peut correspondre à une infinité de D.T.S. Cela signifie que si une relation empirique peut être établie entre le temps moyen de séjour et un paramètre descripteur de la forme de la D.T.S. comme la valeur maximale de cette dernière, cette relation possède une signification physique qui peut être utilisée à des fins pratiques.

Rubrique 4 : Vitesse moyenne de transit en m/h.

La vitesse moyenne de formule :

$$\bar{v} = L \int_{t=0}^{t=t_f} \frac{h(t) dt}{t}$$

peut être définie comme la moyenne des vitesses des tranches élémentaires de la D.T.S. (calculées à partir de la longueur apparente L , seule estimation connue de la longueur réelle du transit). Cette vitesse dépend donc de la forme de la D.T.S. et est influencée par tous les processus qui provoquent le déplacement des molécules de traceur ou introduisent des retards dans ce dernier : transport convectif par l'eau, mais aussi dispersion, diffusion et processus d'adsorption-désorption. En raison de la dissymétrie de la courbe de débit massique fournie par les restitutions de traceur s'opérant en conditions de débit peu variables, la vitesse moyenne est le plus souvent inférieure à la vitesse apparente. Cette caractéristique peut présenter des exceptions en cas, par exemple, de restitution brusquement accélérée par une crue qui peut entraîner une dissymétrie au profit des fortes vitesses.

Rubrique 5 : Vitesse apparente de transit en m/h.

La vitesse apparente de transit de formule :

$$v_{app} = \frac{L}{\bar{t}_s}$$

est égale au rapport de la longueur apparente du transit L sur le temps moyen de séjour t_s . Cette vitesse caractérise donc la vitesse de déplacement du centre de gravité de la D.T.S. et ne rend compte que du transport convectif, à l'exclusion de toutes les autres modalités de déplacement des molécules de traceur.

Rubrique 6 : Masse ou volume restitué. Pourcentage de restitution..

La masse ou le volume de traceur restitué est égal à l'intégrale de la courbe de débit massique ou volumique entre le début et la fin de la restitution :

$$m_r = \int_{t=t_d}^{t=t_f} Q(t)C(t)dt$$

Le pourcentage de restitution est égal au rapport de la masse (traceur sous forme solide) ou du volume (traceur sous forme de solution) de traceur restitué m_r sur la masse ou le volume de traceur injecté m_i multiplié par cent.

$$\%_{rest.} = \frac{m_r}{m_i}$$

1.5 Hydrochimie

1.5.1 Echantillonnage

- Les sources karstiques de catégories 1 et 2, celles équipées de stations de mesure hydrométrique, ont été suivies sur un cycle hydrogéologique complet de septembre 2002 à août 2003 au pas de temps mensuel. Les quatre premières campagnes de prélèvements de septembre à décembre 2002 ont été réalisées par le Parc, les suivantes par le Laboratoire d'Avignon. A partir d'avril 2003 il a été convenu de remplacer le prélèvement de la source de « Pas de Soucy » dont les résultats étaient identiques à celle de « Beldoire » par un prélèvement de la rivière Tarn au droit de Fontmaure. Cette dernière émergence n'a pas pu être échantillonnée en juillet et août par suite de son tarissement et a été prélevée en juin au fond de la vasque sans écoulement.
- Dans le tableau ci-après on rappelle la liste de ces sources, dans l'ordre de la tournée de prélèvements, la commune à laquelle elles appartiennent et leur altitude. Elles sont réparties de façon homogène sur la zone d'étude (fig.1)

		Alt.	2002				2003							
			09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08
Verlenque	VER	710												
Bastide	BAS	710												
Cayrac	CAY	715												
Tantayrou	TAN	655												
Ségala	SEG	685												
Buzareingues	BUZ	670												
Mayrinhac	MAY	640												
Esparse	ESP	630												
Glassac	GLA	560												
Lestang	LES	650												
Courtinaux	COU	630												
Duc	DUC	695												
Serre	SER	700												
Roquaizou	ROQ	710												
Fontmaure	FON	425												
Pas de Soucy	PAS	430												
Beldoire	BEL	425												
Rouveyrol	ROU	420												
Mas de Lafont	MAS	400												
Tarn	TAR	425												

Figure 94 : Tableau de suivi mensuel du réseau de catégories 1 et 2 – analyses disponibles

- Deux campagnes exhaustives étendues aux stations de catégorie 3 (fig.1) avaient été prévues durant l'étude et devaient être réalisées par le Parc en période d'étiage et en période de hautes eaux, si possible en coordination avec le suivi mensuel. La campagne d'étiage a été effectuée en juin 2003 et comporte 76 prélèvements auxquels se sont ajoutés 6 prélèvements supplémentaires courant juillet. Le suivi mensuel des sources de catégorie 1 et 2 est disponible sur cette période. La campagne de hautes eaux n'a pu avoir lieu durant le suivi mensuel en raison des conditions de sécheresse persistante et a été reportée en mai 2004. Elle comporte 92 prélèvements et intéresse en fait une période de moyennes eaux.

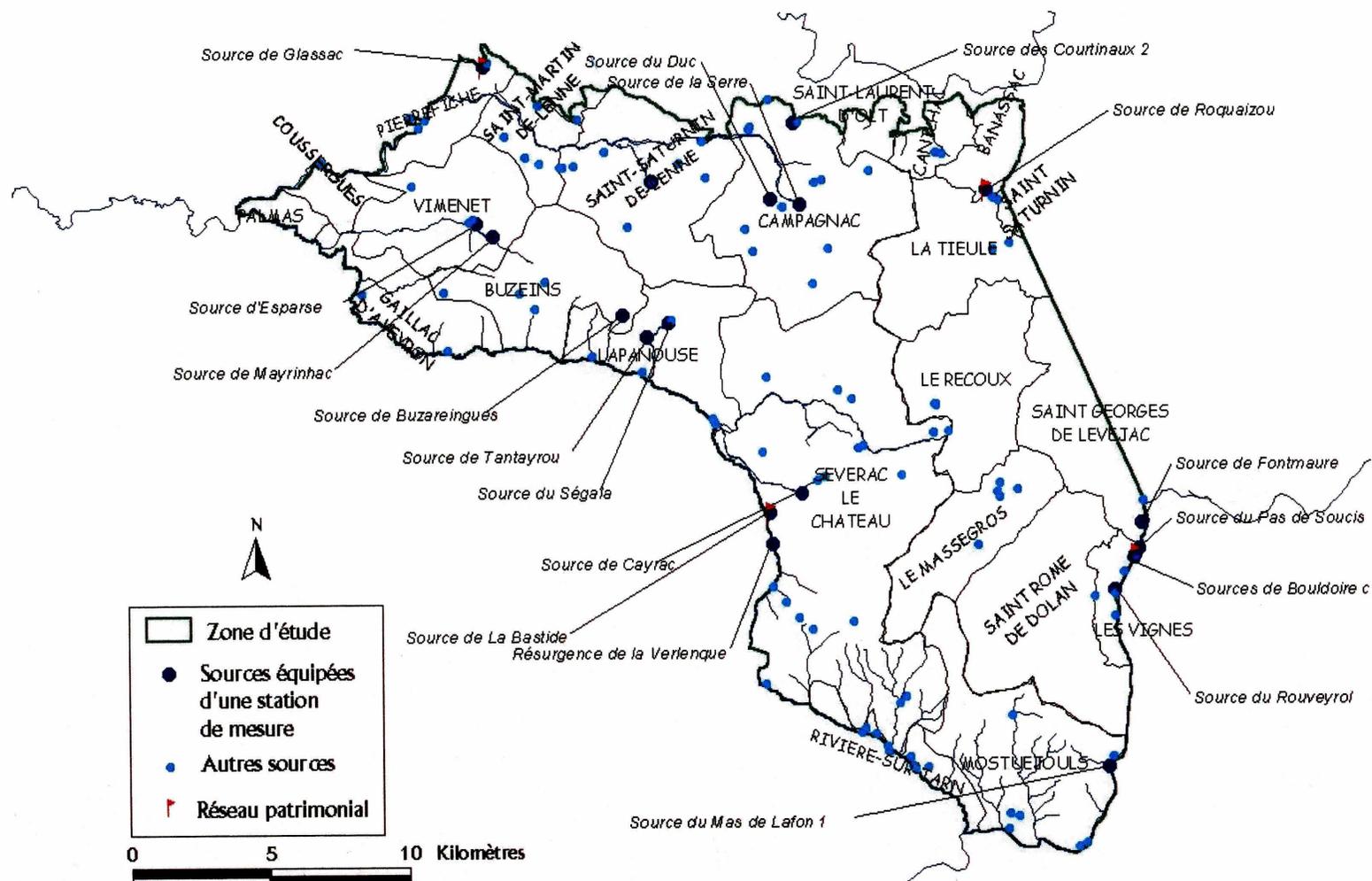


Figure 95 : Cartes des sources étudiées

1.5.2 Méthodes Analytiques

1.5.2.1 Mesures et prélèvements

Température, pH et conductivité ont été mesurés sur le terrain par le personnel du Parc lors des deux campagnes exhaustives qu'ils ont réalisées. Les échantillons conservés au réfrigérateur ont été acheminés au Laboratoire d'Avignon pour analyses. Les prélèvements ont été effectués au plus près de la source mais des problèmes d'accessibilité dans un temps raisonnable et la présence quelquefois d'installations intermédiaires font que certaines mesures de température et de pH (aération, réchauffement) ne reflètent manifestement plus les conditions physico-chimiques de l'émergence.

En ce qui concerne le suivi mensuel sur un cycle hydrologique des sources de catégories 1 et 2, le Parc des Grands Causses a assuré les quatre premières campagnes de septembre à décembre 2002 dans les mêmes conditions que les campagnes exhaustives. Seul le pH n'a pas pu être mesuré en octobre. Le Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon a pris le relais de janvier à août 2003. L'alcalinité a été alors mesurée sur le terrain. Deux échantillons ont été prélevés après filtration sur membrane de 0,45 μ , un pour le dosage des anions et de la silice et un autre pour le dosage des cations après acidification par ajout de HNO₃ pur.

1.5.2.2 Analyses chimiques au laboratoire

Les ions majeurs et la silice ont été dosés au Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Avignon.

L'analyse des cations (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ et K⁺) a été réalisée par absorption atomique de flamme avec un spectromètre VARIAN type 640.

L'analyse des anions (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻) s'est faite par chromatographie ionique en phase liquide sur un appareil DIONEX. Le dosage de la silice a été fait par analyse d'un complexe silico-molybdique bleu sur un spectrophotomètre CECIL de type CE 295.

L'alcalinité, assimilable aux bicarbonates (HCO₃⁻) pour les pH rencontrés, a été mesurée par dosage volumétrique. Cette mesure s'est effectuée sur le terrain par colorimétrie pour le suivi mensuel de janvier à août 2003. Elle s'est effectuée au Laboratoire d'Avignon pour les campagnes générales et le suivi mensuel de septembre à décembre 2002, plusieurs jours après les prélèvements. Les échantillons ont été conservés au réfrigérateur et les dosages n'ont pas été affectés par cette conservation, sauf pour la campagne 2004. La comparaison des conductivités calculées à partir des résultats de l'analyse chimique, les corrélations vérifiées entre les conductivités terrain et les bicarbonates de toutes les campagnes et les balances équilibrées entre cations et anions exprimés en meq. sont les garants d'une bonne conservation des échantillons entre prélèvement et analyse.

Seule la campagne de mai 2004 pose problème pour une partie des résultats. Les balances ioniques ne sont pas équilibrées. Les bicarbonates accusent une baisse importante par rapport aux mêmes analyses de juin 2003. La comparaison entre conductivité terrain et

conductivité calculée à partir des résultats de l'analyse chimique met bien en évidence cette altération (fig. 2) qui se répartit de façon inégale. On doit penser à une précipitation de carbonate de calcium après départ ce CO_2 par aération et/ou réchauffement. Mais le calcium dosé sur une autre fraction d'échantillon n'est pas touché par cette conservation et on peut penser que seul l'échantillon destiné au dosage des bicarbonates a été affecté accidentellement au laboratoire. En conséquence les résultats des bicarbonates sur la seule campagne de mai 2004 ne sont pas représentatifs et ne seront pas utilisés dans les interprétations.

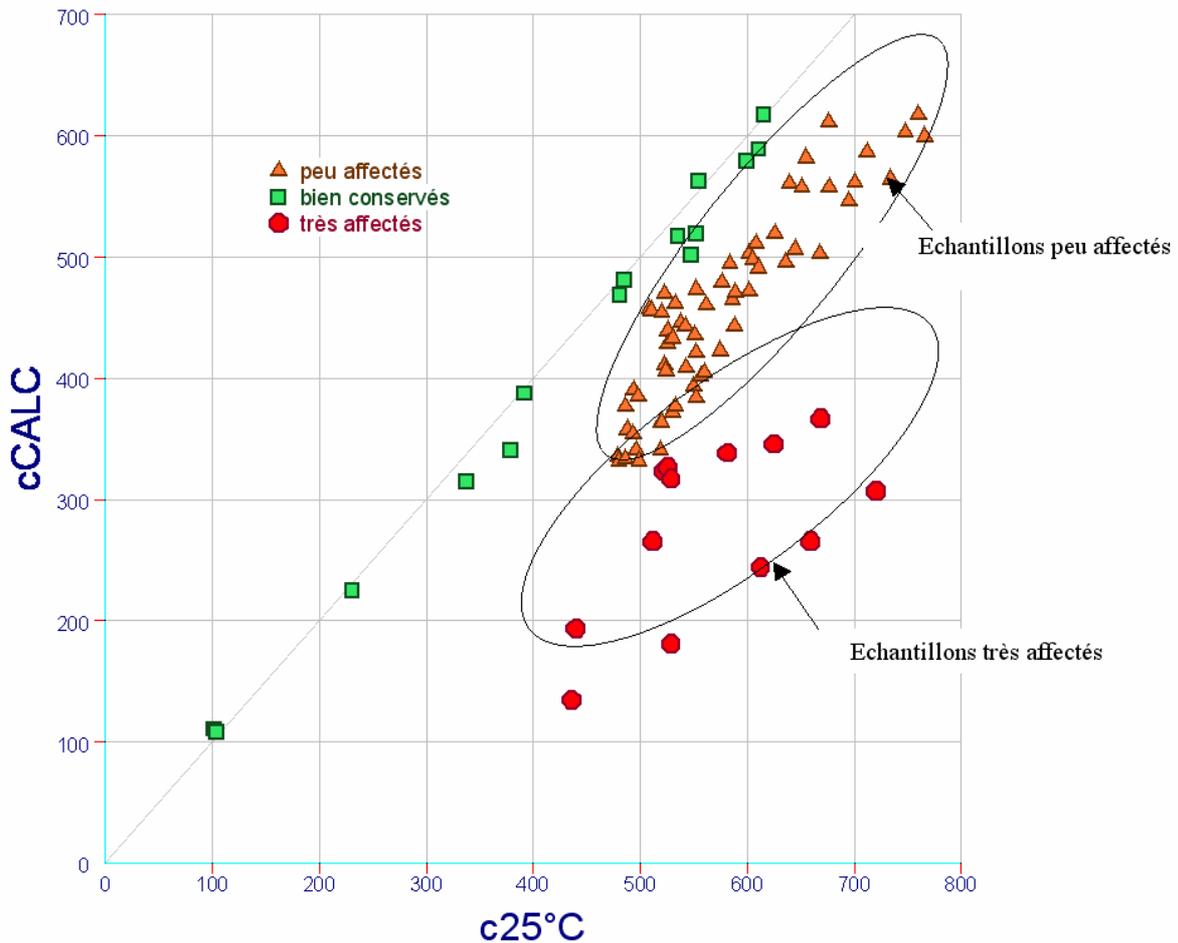


Figure 96 : Comparaison entre conductivités terrain et conductivités calculées de la campagne de mai 2004

1.5.3 Résultats des analyses des campagnes mensuelles

LIEU : Causses de Sauveterre Septembre 2002

Nom	Mesures terrain				Mesures laboratoire								
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	10.95	7.45	492		298	4.74	10.27	5.34	80.62	14.31	1.72	0.84	12.6
Bastide	10.55	7.45	484		288	5.02	13.78	4.28	84.03	12.60	1.59	0.87	11.2
Cayrac	10.9	7.62	446		261	4.39	9.56	4.32	72.60	17.58	1.58	0.73	12.2
Tantayrou	12.8	7.55	434		281	2.35	2.98	3.26	70.75	17.51	1.17	0.26	8.7
Ségala	9.95	7.94	459		298	2.29	2.03	3.05	75.72	12.88	1.19	0.22	5.1
Buzareingues	10.95	7.4	517		334	2.81	2.09	4.13	84.67	17.97	1.47	0.53	5.2
Mayrinhac	12	7.32	494		293	3.16	4.57	3.92	81.29	16.13	1.25	0.52	7.2
Esparse	11.9	7.35	496		337	3.25	4.57	2.97	94.19	7.52	1.33	0.63	7.7
Glassac	14	8.17	449		300	5.48	3.59	6.17	77.00	14.33	3.10	2.59	7.5
Lestang	10.95	7.47	487		342	3.36	6.11	3.55	83.70	12.27	1.38	0.85	7.4
Courtinaux	10.85	8.01	624		351	17.54	20.93	18.99	94.16	18.87	8.39	7.22	12.8
Duc	10.75	7.55	525		327	4.61	9.95	5.32	91.49	12.68	1.70	1.36	10.0
Serre	10.05	7.37	560		368	6.06	5.67	5.22	80.98	24.58	2.31	0.39	7.3
Roquaizou	10	7.66	499		273	6.28	5.28	6.79	72.20	14.53	3.01	0.60	11.7
Fontmaure	12.5	7.71	355		237	2.84	1.25	4.68	59.63	10.49	1.99	0.51	7.5
Pas de Soucy	11.85	7.31	531		329	4.29	8.08	32.97	84.57	17.55	2.62	1.57	9.8
Beldoire	11.9	7.28	531		310	4.30	7.50	32.41	82.96	17.24	2.60	1.47	9.8
Rouveyrol	11.35	7.3	491		310	9.58	11.23	4.80	80.23	12.49	4.82	0.84	11.3
Mas de Lafont	11.1	7.47	450		300	2.35	2.18	4.33	61.87	25.90	1.12	0.16	3.9
Tarn													

LIEU : Causses de Sauveterre Octobre 2002

Libellé	Mesures terrain				Mesures laboratoire								
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	11		489		310	5.20	10.81	5.67	82.92	14.52	1.93	0.86	12.3
Bastide	10.5		497.5		288	6.27	15.32	5.30	87.24	11.26	2.20	1.01	10.5
Cayrac	10.7		460		285	5.20	10.40	4.50	79.99	16.37	1.77	0.71	11.5
Tantayrou	12.8		436.5		296	4.01	6.99	4.89	77.83	17.51	1.71	2.32	9.5
Ségala	10.2		521		320	7.61	25.78	6.09	92.06	10.21	1.74	1.04	6.3
Buzareingues	11.1		576		371	6.34	10.41	6.44	88.90	21.35	2.19	4.84	8.5
Mayrinhac	11.9		509		332	4.00	7.17	4.43	83.33	16.58	1.46	1.24	7.2
Esparse	11.8		500		315	3.63	5.62	3.54	91.67	7.56	1.41	0.89	8.1
Glassac	11.8		568		410	7.65	15.65	12.37	97.69	19.21	2.86	3.90	11.3
Lestang	10.6		518		349	4.96	15.47	4.09	93.28	10.07	1.37	0.98	6.5
Courtinaux	10.9		650		349	13.91	24.57	27.24	108.10	14.45	5.75	6.99	12.8
Duc	10.4		552		339	6.60	14.96	7.84	98.43	10.90	2.07	2.16	8.7
Serre	10.1		593		376	11.24	7.69	8.25	85.33	24.84	4.18	1.50	5.5
Roquaizou	9.9		510		351	7.25	6.96	8.45	83.30	14.47	3.69	0.91	10.7
Fontmaure	12.6		341		215	3.25	4.81	5.60	56.20	10.96	2.09	0.91	8.3
Pas de Soucy	11.9		512		295	4.66	7.70	24.15	80.15	16.38	2.44	1.32	9.6
Beldoire	11.9		513		317	4.58	7.74	25.00	79.45	16.53	2.45	1.32	9.6
Rouveyrol	11.3		501		305	8.82	14.23	5.47	82.88	12.36	3.51	1.16	12.1
Mas de Lafont	11.3		449		281	2.54	2.52	4.60	62.18	26.23	1.15	0.15	3.8
Tarn													

LIEU : Causse de Sauveterre Novembre 2002

Libellé	Mesures terrain				Mesures laboratoire								
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	10.35	7.35	534		305	7.93	16.83	8.06	96.52	8.65	3.47	1.10	10.4
Bastide	10.25	7.37	498		300	6.85	14.63	6.27	90.64	9.69	2.80	0.98	9.6
Cayrac	10.5	7.53	492		307	5.16	10.47	4.51	80.60	13.88	1.93	0.69	9.8
Tantayrou	12.5	7.34	499		305	4.27	9.87	5.87	77.37	16.55	1.75	2.97	10.8
Ségala	10.15	7.44	523		322	5.56	13.55	4.29	94.47	9.24	1.62	0.97	5.7
Buzareingues	10.8	7.28	581		381	5.41	10.35	8.58	93.62	18.71	1.90	3.92	9.1
Mayrinbac	11.1	7.24	548		344	5.18	12.21	5.09	91.85	15.60	1.62	1.29	7.5
Esparse	11.15	7.11	582		376	5.09	9.47	4.66	114.00	3.57	1.40	0.70	6.8
Glassac	10.55	7.42	609		349	8.93	15.75	11.63	94.17	15.86	3.19	4.85	11.3
Lestang	10.35	7.41	538		339	4.65	11.00	4.01	94.59	12.39	1.56	0.83	5.9
Courtinaux	10.8	7.46	616		356	9.35	20.76	11.67	104.90	14.77	3.23	3.98	12.2
Duc	10.25	7.33	569		356	5.72	9.84	6.44	101.40	13.99	1.76	1.42	7.8
Serre	10	7.45	603		381	7.08	5.79	5.18	89.62	26.91	2.58	0.86	5.4
Roquaizou	10	7.52	526		327	4.98	5.52	6.38	85.24	15.99	2.43	0.48	10.6
Fontmaure	10.95	7.29	541		349	6.09	10.22	9.48	93.72	13.15	2.29	1.20	7.6
Pas de Soucy	11.55	7.26	538		295	5.10	8.55	21.12	90.88	14.55	2.66	1.32	8.9
Beldoire	11.6	7.25	556		366	5.38	9.31	23.25	94.61	14.74	2.71	1.34	8.9
Rouveyrol	10.95	7.35	520		317	6.62	12.62	4.73	96.08	8.52	2.89	1.24	9.1
Mas de Lafont	11.15	7.59	460		305	2.58	1.94	4.38	67.02	25.93	1.23	0.19	3.9
Tarn													

LIEU : Causse de Sauveterre Décembre 2002

Libellé	Mesures terrain				Mesures laboratoire								
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	10.5	7.33	528		312	7.41	15.58	8.24	95.11	9.24	4.88	1.18	10.6
Bastide	10.3	7.44	494		295	5.45	12.43	6.18	90.08	10.29	3.46	0.87	10.6
Cayrac	10.55	7.53	477		298	4.84	11.21	4.15	80.84	15.03	2.10	0.66	11.0
Tantayrou	12.65	7.5	440		285	2.73	4.48	4.37	77.63	17.33	1.89	2.98	9.2
Ségala	10	7.49	494		322	3.79	8.30	3.97	93.91	9.67	1.66	0.94	5.5
Buzareingues	10.5	7.38	557		349	3.71	4.14	7.74	93.11	19.92	2.05	3.93	6.8
Mayrinhac	11.2	7.3	529		327	3.90	7.84	4.61	91.28	16.46	1.68	1.25	6.4
Esparse	11.25	7.2	548		342	4.16	8.04	4.07	116.30	3.84	1.36	0.66	7.2
Glassac	9.35	7.63	598		361	6.24	11.05	13.21	91.23	15.58	3.07	4.80	9.8
Lestang	10.25	7.38	534		337	3.97	7.62	3.55	92.59	12.45	1.51	0.80	6.0
Courtinaux	10.3	7.61	605		342	8.31	16.51	16.81	102.10	14.67	3.17	3.98	11.7
Duc	10.25	7.41	553		337	5.04	8.83	5.93	98.71	14.07	1.70	1.38	7.8
Serre	10.05	7.58	596		378	6.77	6.30	5.36	87.74	27.90	2.48	0.80	5.7
Roquaizou	9.8	7.5	525		322	5.39	5.93	7.41	85.10	15.73	2.32	0.41	10.8
Fontmaure	10.85	7.39	510		312	4.81	9.12	7.68	92.90	12.92	2.21	1.12	7.6
Pas de Soucy	11.45	7.36	529		307	4.70	8.08	22.41	89.72	14.38	2.57	1.23	8.8
Beldoire	11.45	7.29	538		310	4.89	8.39	23.80	93.07	14.53	2.58	1.26	8.8
Rouveyrol	10.95	7.43	512		346	8.45	14.79	5.78	92.04	8.36	2.85	1.23	11.2
Mas de Lafont	11.05	7.64	457		300	2.58	2.68	4.44	64.62	25.40	1.20	0.20	3.9
Tarn													

LIEU : Causse de Sauveterre janvier 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	10.4	6.74	531	92	292	12.05	14.27	7.03	100.90	8.05	5.71	1.30	8.9
Bastide	10.2	7.31	489		263	11.52	17.43	4.99	91.98	7.84	6.08	2.22	9.4
Cayrac	10.2	7.41	459	82	270	4.38	10.04	3.73	78.33	17.30	1.61	0.65	11.8
Tantayrou	12.2	7.46	454	97	276	3.62	7.35	7.26	78.44	16.70	1.85	3.19	11.1
Ségala	10.1	7.6	493	100	294	4.16	10.94	4.68	94.64	11.32	1.53	0.47	6.3
Buzareingues	9.8	7.45	542	88	327	4.24	4.91	9.97	97.31	17.73	1.91	2.62	9.1
Mayrinhac	11	7.48	526	92	321	3.97	7.32	4.51	97.40	15.36	1.55	1.24	6.6
Esparse	11.3	7.27	546	88	328	3.71	6.81	4.04	115.90	6.14	1.42	0.60	7.5
Glassac	8.4	8.18	562	115	320	9.08	12.95	11.80	95.78	18.98	4.26	5.47	12.9
Lestang	10	7.66	514	123	313	3.69	6.98	3.98	99.03	13.52	1.53	0.51	5.6
Courtinaux	9.9	7.76	579	80	315	11.70	15.70	11.88	100.90	15.32	5.16	4.28	11.5
Duc	9.9	7.65	543	91	325	5.06	8.66	6.70	104.50	14.34	1.86	1.29	7.5
Serre	9.8	7.7	580	89	359	6.41	6.39	6.61	96.56	25.88	2.77	1.02	5.9
Roquaizou	9.6	7.8	513	86	301	9.50	5.49	6.57	92.68	14.19	4.05	0.59	10.4
Fontmaure	10.8	7.51	489	83	296	4.32	6.96	5.88	88.22	15.54	1.76	0.56	7.6
Pas de Soucy	11.4	7.44	515	77	297	4.22	6.33	19.71	93.65	15.67	2.33	0.85	8.8
Beldoire	11.3	7.47	518	77	295	4.51	6.38	20.44	91.67	15.87	3.30	0.91	8.8
Rouveyrol	10.9	7.41	526	82	288	14.41	14.73	4.70	89.71	12.75	9.74	1.13	12.0
Mas de Lafont	11	7.66	454	84	286	2.41	2.34	4.74	63.46	26.44	1.19	0.21	3.8
Tarn													

LIEU : Causse de Sauveterre Février 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	9.9	6.9	510	77	288	7.46	12.45	6.81	90.19	13.34	2.86	0.70	12.0
Bastide	9.8	7.08	483	76	285	4.20	8.45	4.44	83.76	14.60	1.43	0.34	11.8
Cayrac	10	7.1	460	76	260	4.91	10.64	4.66	74.00	17.72	1.68	0.68	11.7
Tantayrou	11.5	7.2	434	77	258	2.57	3.59	3.86	72.33	17.91	1.26	0.34	8.9
Ségala	8.9	7.44	476	79	284	3.20	4.88	3.50	88.20	11.12	1.29	0.23	5.2
Buzareingues	9.3	7.37	535	76	331	3.37	1.94	5.41	91.23	18.85	1.48	0.71	5.4
Mayrinhac	9.9	7.38	524	78	317	3.96	5.83	4.36	93.81	15.23	1.39	0.46	5.8
Esparse	10.5	7.26	511	78	321	3.83	5.91	4.43	102.10	7.44	1.38	0.51	7.0
Glassac	5.9	7.51	517	82	312	5.63	8.03	8.62	87.67	18.15	2.47	1.58	7.1
Lestang	8.8	6.8	524	75	317	3.89	5.27	3.81	90.94	18.14	1.45	0.33	5.4
Courtinaux	9.4	7.67	571	105	318	9.10	14.34	17.42	98.86	14.58	3.88	3.17	11.0
Duc	9.3	7.87	528	84	332	4.60	6.80	5.19	95.59	15.25	1.51	0.62	7.4
Serre	9.2	7.95	574	86	359	6.35	6.41	5.48	88.99	26.38	2.31	0.41	5.8
Roquaizou	9.1	7.72	512	82	300	6.42	6.34	6.62	88.34	15.59	2.65	0.53	11.7
Fontmaure	10.4	7.53	493	80	315	4.45	7.17	6.02	84.17	16.31	1.73	0.60	7.3
Pas de Soucy	11	7.63	520	80	301	4.45	5.66	20.28	87.69	16.24	2.46	0.99	8.4
Beldoire	10.5	7.51	519	82	317	4.56	5.88	21.04	88.15	16.22	2.37	0.93	8.4
Rouveyrol	10.6	7.6	552	74	284	22.07	17.12	5.47	83.11	13.91	14.19	1.31	12.5
Mas de Lafont	10.5	7.78	459	71	282	2.67	2.48	4.17	67.70	26.19	1.22	0.21	3.7
Tarn													

LIEU : Causse de Sauveterre Mars 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	13.1	6.98	507	73	350	6.38	13.08	6.52	98.26	14.97	2.28	0.90	12.8
Bastide	12	7.51	472	66	322	3.84	7.84	4.67	90.08	15.47	1.37	0.42	12.3
Cayrac	11.4	7.73	458	70	329	4.96	11.58	5.16	79.65	18.23	1.60	0.71	12.3
Tantayrou	13.4	7.60	440	63	279	2.67	4.03	9.20	75.07	18.65	1.30	0.65	9.1
Ségala	10.9	7.74	468	70	326	3.19	5.95	3.97	98.37	11.24	1.30	0.29	5.2
Buzareingues	11.5	7.43	529	62	360	3.40	2.61	5.40	101.40	18.63	1.44	0.68	5.6
Mayrinhac	11.6	7.51	518	65	372	3.84	6.60	4.81	100.20	16.89	1.36	0.56	6.2
Esparse	11.9	7.43	517	74	385	3.75	6.55	4.54	114.40	7.09	1.41	0.58	7.1
Glassac	9.2	8.27	495	70	337	5.90	7.68	9.62	92.09	17.51	2.62	1.46	5.0
Lestang	10.7	7.63	517	67	333	3.80	5.65	4.33	92.23	16.66	1.43	0.40	5.8
Courtinaux	10.9	7.85	573	62	381	11.64	16.38	18.58	115.20	14.97	4.79	3.66	11.0
Duc	9.9	7.95	526	61	339	4.88	7.80	5.54	105.90	16.25	1.57	0.77	7.7
Serre	9.7	8.03	573	58	346	6.94	6.99	5.79	84.45	27.84	2.28	0.41	5.9
Roquaizou	9.1	7.11	508	70	378	7.00	6.32	7.05	98.60	16.23	2.67	0.54	11.9
Fontmaure	10.4	7.60	478	60	299	4.44	7.71	5.94	86.61	18.06	1.64	0.61	7.5
Pas de Soucy	11.6	7.47	512	75	341	4.55	6.54	23.33	96.98	17.55	2.45	1.00	8.8
Beldoire	11.9	7.39	515	74	353	4.66	6.45	23.91	97.74	17.36	2.37	0.91	8.8
Rouveyrol	11.8	7.47	546	78	299	22.60	20.82	5.53	93.28	14.98	13.91	1.34	12.9
Mas de Lafont	11.7	7.68	452	83	343	2.67	3.80	4.81	66.32	27.89	1.20	0.21	3.6
Tarn													

LIEU : Causse de Sauveterre Avril 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	13.6	7.00	501	105	294	5.28	12.11	5.97	88.34	14.97	1.91	0.83	13.0
Bastide	12	7.32	472	103	346	3.34	6.39	4.48	93.33	16.14	1.19	0.23	13.1
Cayrac	12.5	7.41	454	101	322	4.61	10.81	4.56	82.11	19.12	1.81	0.92	12.8
Tantayrou	13.5	7.43	437	96	319	2.73	4.69	4.06	78.36	18.83	1.39	0.76	9.2
Ségala	12.1	7.77	466	95	341	2.75	3.66	3.50	100.20	11.92	1.21	0.21	5.1
Buzareingues	11.9	7.58	522	84	332	3.22	2.71	4.49	90.06	19.54	1.53	0.61	5.8
Mayrinhac	12.7	7.68	513	83	318	3.75	5.50	4.16	89.21	17.11	1.37	0.57	6.6
Esparse	12.5	7.41	507	80	309	3.54	5.30	3.83	102.00	8.52	1.50	0.67	7.7
Glassac	13.4	8.37	449	83	332	5.32	5.95	8.56	82.47	16.06	2.79	1.37	5.2
Lestang	11.2	7.81	508	78	384	3.59	4.73	4.04	100.90	14.92	1.45	0.47	6.3
Courtinaux	13.5	7.96	608	80	317	20.39	21.72	20.22	104.30	16.70	10.54	5.28	12.3
Duc	9.4	7.43	518	80	318	4.75	7.76	5.04	95.30	15.84	1.52	0.67	8.5
Serre	9.3	7.9	562	70	356	6.42	6.65	5.91	83.19	26.84	2.44	0.33	6.4
Roquaizou	11	7.82	496	90	347	7.24	5.83	6.91	94.74	16.20	3.01	0.48	12.1
Fontmaure	11.7	7.58	454	77	356	3.44	7.12	2.98	81.44	18.10	1.28	0.38	7.6
Pas de Soucy													
Beldoire	12.4	7.35	504	70	299	3.90	5.90	22.72	94.61	17.69	2.28	0.79	9.2
Rouveyrol	12	7.52	578	81	303	31.79	19.77	5.36	91.70	16.05	21.59	1.81	14.5
Mas de Lafont	12.8	7.72	452	80	309	2.56	2.70	4.62	65.85	27.24	1.18	0.20	3.8
Tarn	12.5	7.97	151	80	83	2.11	1.30	3.79	22.51	4.36	1.68	0.44	9.4

LIEU : Causse de Sauveterre Mai 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	11.6	7.20	417	84	301	5.14	11.30	5.65	94.03	14.80	2.02	0.81	13.0
Bastide	11.9	7.55	350	91	285	2.90	5.49	3.69	84.33	15.70	1.26	0.28	13.0
Cayrac	12.4	7.53	364	95	268	4.02	9.73	4.27	75.19	18.68	1.56	0.70	12.9
Tantayrou	13.3	7.45	348	88	278	2.53	3.35	3.31	73.47	17.93	1.43	0.72	9.0
Ségala	12.4	7.50	359	88	295	2.34	2.07	3.01	91.10	11.58	1.31	0.27	4.9
Buzareingues	11.8	7.36	397	95	332	2.85	2.00	4.14	95.67	18.46	1.58	0.76	5.7
Mayrinhac	12.4	7.38	387	92	320	3.04	4.38	3.81	93.54	16.89	1.39	0.55	6.7
Esparse	12.2	7.34	387	85	315	3.35	4.70	3.77	106.10	7.93	1.43	0.61	7.7
Glassac	13.8	8.19	367	100	273	5.48	5.27	6.29	79.31	14.68	3.10	1.85	9.0
Lestang	11.3	7.71	368	96	314	3.25	4.79	3.45	95.41	13.62	1.46	0.69	7.5
Courtinaux	11.55	7.91	473	95	329	19.36	21.06	16.29	104.70	18.49	10.48	5.46	13.2
Duc	12.3	7.46	400	88	315	4.49	7.42	4.83	98.18	15.01	1.65	0.81	9.0
Serre	11.5	7.56	419	87	336	5.91	5.57	5.50	72.03	26.80	2.41	0.31	6.9
Roquaizou	11.3	7.64	374	85	302	7.94	4.78	6.41	90.37	15.89	3.38	0.49	12.1
Fontmaure	13.4	7.59	273	67	213	2.97	3.21	4.12	56.78	12.26	1.70	0.47	7.2
Pas de Soucy													
Beldoire	12.5	7.39	392	80	294	3.39	4.84	26.28	87.38	18.23	2.28	0.87	9.3
Rouveyrol	12.7	7.41	464	86	272	52.00	19.08	5.01	93.54	16.11	28.30	2.00	14.3
Mas de Lafont	12.7	7.56	352	87	290	2.26	2.06	4.26	62.65	27.64	1.22	0.20	3.7
Tarn	15.6	7.82	181	85	127	2.23	1.58	4.18	33.80	6.68	1.91	0.59	9.0

LIEU : Causse de Sauveterre Juin 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	10.3	7.04	417	95	301	4.47	9.74	5.13	86.57	14.69	1.77	0.85	12.7
Bastide	11.1	7.51	368	89	289	2.62	4.79	3.59	79.44	15.93	1.20	0.22	12.6
Cayrac	12.5	7.65	356	95	270	4.04	10.05	4.07	72.18	18.49	1.68	0.76	12.6
Tantayrou	12.2	7.45	358	83	274	2.30	3.01	3.09	75.53	18.00	1.35	0.49	8.6
Ségala	9.5	8.07	366	100	271	3.07	2.08	3.01	78.39	11.88	1.49	0.47	4.7
Buzareingues	10.3	7.66	408	90	333	2.59	1.89	3.69	89.08	18.41	1.41	0.47	5.0
Mayrinhac	11.4	7.56	405	89	317	2.86	4.20	3.54	90.21	16.99	1.29	0.52	6.6
Esparse	11.3	7.42	399	93	310	2.91	3.84	3.15	98.19	10.10	1.33	0.49	7.5
Glassac	19.1	8.25	399	86	256	5.24	4.46	5.94	76.61	14.75	3.48	1.79	10.7
Lestang	10.4	7.55	400	93	310	2.96	4.07	3.25	89.79	14.24	1.32	0.43	6.5
Courtinaux	10.2	7.49	594	95	331	11.83	13.34	13.73	92.42	20.51	6.68	3.82	12.2
Duc	12.1	7.95	422	90	322	4.50	7.56	5.69	97.12	14.35	1.67	1.21	9.3
Serre	12.1	8.13	443	90	324	5.09	5.06	4.49	75.85	26.97	2.01	0.35	6.7
Roquaizou	10.2	7.48	513	90	287	5.31	4.73	5.73	83.97	15.71	2.49	0.49	12.0
Fontmaure	10.8	7.54	342	68	201	2.58	2.79	4.08	57.82	11.43	1.89	0.58	7.5
Pas de Soucy													
Beldoire	11.3	7.56	524	87	269	2.99	4.18	29.32	83.51	18.42	2.29	0.88	9.4
Rouveyrol	10.7	7.63	599	92	267	33.82	16.30	4.64	79.52	16.24	24.36	1.70	13.8
Mas de Lafont	10.4	7.64	462	95	288	2.02	1.98	4.33	61.42	26.78	1.13	0.18	3.5
Tarn	21.2	7.80	311	100	184	2.25	1.67	3.49	51.28	9.94	2.00	0.63	9.4
Cayrac bas					269	4.20	10.21	4.35	72.66	18.48	1.76	0.83	

LIEU : Causse de Sauveterre Juillet 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	12	7.09	494	95	294	4.99	10.97	5.76	89.95	14.94	1.77	0.86	12.8
Bastide	11	6.80	446	92	270	3.10	5.33	4.14	81.40	15.93	1.17	0.21	12.9
Cayrac	11	7.17	435	92	261	4.36	10.63	4.62	71.35	18.94	1.48	0.74	13.0
Tantayrou	12.2	7.34	417	91	264	2.66	3.35	3.56	71.37	17.76	1.30	0.31	8.7
Ségala	11	7.75	450	96	292	2.63	2.31	3.36	71.76	13.71	1.25	0.22	4.8
Buzareingues	10.7	7.42	502	83	318	3.19	2.16	5.06	88.55	19.53	1.50	0.53	5.1
Mayrinhac	12.5	7.53	483	92	289	3.34	5.06	3.81	86.08	17.22	1.32	0.52	6.7
Esparse	11.7	7.49	469	91	296	3.01	4.38	3.68	92.73	10.17	1.33	0.49	7.7
Glassac	19	8.25	393	90	248	6.01	3.17	5.62	63.17	15.09	3.46	1.97	8.7
Lestang	13.2	7.63	465	93	296	3.44	4.87	3.82	89.01	13.78	1.46	0.52	6.7
Courtinaux	10.5	7.89	573	96	323	14.27	15.52	18.16	95.23	19.90	7.60	4.50	12.8
Duc	14.7	7.99	494	104	307	5.04	8.54	5.32	96.02	13.49	1.72	1.04	8.2
Serre	12.2	8.2	526	94	342	5.59	5.93	6.55	69.77	24.98	2.08	0.29	7.2
Roquaizou	10.1	7.02	482	91	292	6.27	5.75	6.75	86.80	15.39	2.71	0.50	12.3
Fontmaure													
Pas de Soucy													
Beldoire	12.1	7.29	497	89	285	3.40	4.77	31.59	85.94	18.00	2.40	0.88	9.6
Rouveyrol	10.8	7.40	563	92	273	36.96	17.81	5.60	81.05	15.82	23.55	1.67	14.2
Mas de Lafont	10.8	7.81	433	97	285	2.50	2.49	4.56	61.96	26.45	1.21	0.19	3.6
Tarn	19	7.53	305	106	192	3.04	1.34	4.03	50.40	10.43	2.13	0.63	9.3

LIEU : Causses de Sauveterre Août 2003

Libellé	Mesures terrain					Mesures laboratoire							
	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
Verlenque	11.3	7.38	482	95	294	4.80	11.03	5.79	89.39	14.52	1.76	0.61	12.8
Bastide	11.2	7.50	444	87	270	3.00	5.24	3.90	77.57	15.54	1.17	0.20	12.8
Cayrac	12	7.54	430	87	261	4.07	10.59	4.54	70.78	18.53	1.51	0.44	13.0
Tantayrou	13	7.47	423	87	264	2.67	3.46	3.57	72.66	17.85	1.36	0.19	8.6
Ségala	10.9	7.99	445	94	292	2.54	2.43	3.49	66.25	15.50	1.29	0.20	4.6
Buzareingues	11.3	7.38	501	95	318	3.12	2.22	4.23	89.72	18.45	1.53	0.21	4.8
Mayrinhac	12.5	7.38	476	95	289	3.17	5.06	4.12	89.43	16.67	1.32	0.19	6.8
Esparse	13	7.48	472	99	296	3.14	4.54	3.57	95.78	9.90	1.35	0.20	7.7
Glassac	18.3	8.25	415	90	248	6.93	7.21	6.36	69.50	15.26	4.89	2.02	9.2
Lestang	11.9	7.26	469	89	296	3.14	4.77	4.13	87.36	14.35	1.32	0.41	6.8
Courtinaux	11.4	7.38	576	92	323	15.55	13.92	16.78	92.85	21.22	9.92	4.93	13.2
Duc	11.6	7.83	501	84	307	4.63	9.26	5.88	95.74	13.73	1.60	0.87	9.6
Serre	11.6	8.13	522	84	342	4.89	5.44	5.22	62.76	25.63	1.87	0.27	6.8
Roquaizou	10.5	7.40	480	95	292	5.93	5.73	6.30	86.02	16.21	2.58	0.55	12.1
Fontmaure													
Pas de Soucy													
Beldoire	12.2	7.34	493	82	285	3.21	4.80	32.68	87.73	18.71	2.42	0.98	9.6
Rouveyrol	11.8	7.48	494	95	273	16.25	15.92	5.16	79.48	16.32	9.91	1.18	13.9
Mas de Lafont	11.6	7.57	431	90	285	2.44	2.27	7.96	60.99	26.69	1.25	0.28	3.5
Tarn	19.3	7.62	313	89	192	2.82	1.98	4.12	52.53	10.42	2.44	0.72	6.8

1.5.4 Résultats des analyses des campagnes ponctuelles

Lieu : Causes de Sauveterre (Juin 2003) 1ère campagne à l'étiage

Commune	Libelle	Mesure sur terrain				Mesure en laboratoire [mg/L]									
		T °C	pH	e2S °C	HCO3-	Cl-	NO3-	SO4--	Ca++	Mg++	Na+	K+	SiO2		
Séverac-le-Château	Fontaine d'Argelès (11/06/03)	10.5	7.39	533	328	10.0	3.0	5.0	48.3	28.2	3.2	2.4	29		
Séverac-le-Château	Fontaine du Samonta (cap. AEP) (11/06/03)	14.6	7.38	472	239	8.5	24.3	18.7	70.6	7.4	2.2	0.7	19		
Séverac-le-Château	Source de l'Aveyron (11/06/03)	10.5	7.92	611	335	13.8	36.6	7.6	73.8	21.1	4.3	1.4	18		
Séverac-le-Château	Source des Dragonnières (11/06/03)	11.3	7.53	532	279	21.3	24.0	9.7	50.5	23.6	6.3	5.1	14		
Séverac-le-Château	Source de Montaliès (11/06/03)	8.9	7.20	143	56	2.5	6.9	11.6	11.3	4.0	3.8	0.6	31		
Séverac-le-Château	Cayrac 2 (11/06/03)	11.9	7.32	633	360	11.8	22.3	13.6	89.6	15.6	3.3	0.6	19		
Séverac-le-Château	Abreuvoir face Cayrac (11/06/03)	13.9	7.83	436	227	7.5	18.2	18.7	61.7	10.2	1.3	0.3	16		
Séverac-le-Château	La Muralasse (11/06/03)	9.7	7.38	482	272	8.7	10.8	13.3	34.1	17.9	4.2	0.6	20		
Séverac-le-Château	Source des Douzes (11/06/03)	11.7	7.55	679	356	50.3	7.3	34.4	86.9	11.0	11.3	0.8	22		
Séverac-le-Château	Source de Bellas (12/06/03)	10.9	7.24	573	312	6.3	24.7	22.1	89.0	7.8	1.5	0.7	17		
Séverac-le-Château	Puits du Villaret (12/06/03)	15.4	7.16	670	391	7.3	6.6	36.5	110.4	9.6	2.0	1.0	16		
Séverac-le-Château	Fontaine du Villaret (12/06/03)	18.6	7.39	455	256	5.5	14.0	8.3	71.5	4.6	1.4	1.6	18		
Séverac-le-Château	Source du Rouquet (13/06/03)	11.4	7.14	667	441	4.4	0.9	4.6	76.0	32.6	1.8	0.7	6		
Séverac-le-Château	Source de Blayac (13/06/03)	13.4	7.65	599	348	11.1	10.0	18.1	75.2	20.9	1.4	0.1	17		
Séverac-le-Château	Source des Fonds (13/06/03)	11.1	7.30	554	346	4.9	4.6	13.4	71.0	20.4	1.7	1.3	13		
Banassac	Source du Valadas 1 (20/06/03)	10.1	7.43	524	334	3.0	2.8	4.2	77.2	11.9	1.1	0.4	13		
Banassac	Source Roquaizou 2 (20/06/03)	10.2	7.10	771	346	73.6	9.4	15.5	87.0	15.5	28.5	1.3	17		
Coussergues	Source de Résenhe (16/06/03)	11.8	7.33	529	315	5.6	13.9	4.9	81.5	8.6	1.6	0.4	11		
Coussergues	Résurgences du Moulin de Mafre (16/06/03)	11.8	7.47	549	326	6.3	14.7	6.5	81.8	10.8	1.8	0.8	12		
Le Recoux	Puits du cimetière (12/06/03)	11.9	7.25	553	351	4.0	0.1	9.1	85.4	10.4	3.6	0.5	18		
St Geniez d'Olt	Source de Bouissettes (18/06/03)	11.8	7.28	604	336	9.4	18.8	17.4	73.1	20.3	3.1	4.0	15		
St Georges de Lévéjac	Source des Baumes (10/06/03)	11.1	7.50	453	279	3.8	7.2	2.9	63.7	11.5	1.1	0.3	10		
St Georges de Lévéjac	Fontaine des Fonds (12/06/03)	9.6	8.22	460	321	3.0	0.8	3.8	54.2	23.0	1.2	0.4	13		
La Tieule	Source du duc (20/06/03)	15.2	7.19	664	418	4.6	0.7	4.8	77.0	31.9	1.5	0.4	8		
La Tieule	Source de Pertuzades (20/06/03)	17.7	7.35	690	314	18.2	81.2	16.3	96.5	7.2	6.0	1.6	26		
Gaillac d'Aveyron	Source de Gagnac (13/06/03)	13.8	7.24	721	408	10.9	19.3	30.9	69.9	35.9	4.1	8.8	17		
Gaillac d'Aveyron	Source de Gaillac d'Aveyron (13/06/03)	11.7	7.27	757	366	8.6	21.2	11.8	81.0	37.7	2.2	0.7	14		
Canilhac	Source de Verteilhac (20/06/03)	9.9	7.83	372	199	6.4	21.2	7.1	46.5	10.8	1.2	0.2	12		
Canilhac	Source de Verteilhac 2 (20/06/03)	10.5	7.14	518	281	4.1	5.0	42.8	72.9	11.4	1.5	0.9	13		
Canilhac	Source de Canilhac (20/06/03)	10.2	7.98	354	194	3.5	14.5	6.6	43.3	10.6	1.1	0.2	11		
Buzeins	Fontaine de la Tine (13/06/03)	18.3	7.70	550	327	6.7	4.5	11.4	77.0	19.9	3.8	1.5	29		
Buzeins	Source les Pouzets (13/06/03)	14.5	7.70	721	439	9.8	20.7	12.2	78.7	43.0	2.6	0.4	16		
Buzeins	Source du Teron (13/06/03)	10.8	7.16	481	304	3.1	4.5	4.6	64.8	23.9	2.4	0.5	30		
Lapanouse	Source Roque (a.cap.) (11/06/03)	11.1	7.28	597	313	24.7	12.2	19.2	86.1	16.1	9.0	1.9	11		
Lapanouse	Source de Cornuejols (13/06/03)	10.5	7.11	698	405	14.1	30.2	13.7	87.1	35.0	5.4	9.1	17		
Lapanouse	Source du Téron (du Béz) (13/06/03)	10.7	7.09	644	423	3.7	0.5	4.0	89.7	30.7	1.4	0.3	7		
Lapanouse	Source de Trivalle (16/06/03)	11.7	7.39	547	320	6.0	20.3	8.5	73.7	24.5	1.7	0.9	13		
Vimenes	Source d'Esparses 2 (16/06/03)	15.1	7.28	595	378	3.3	0.1	8.9	117.0	7.9	1.5	0.1	12		
Vimenes	Puits les Tassières (16/06/03)	12.8	7.52	796	505	5.5	1.7	29.7	107.7	43.3	2.4	3.1	19		
Les Vignes	Le Parisien (10/06/03)	12.2	7.54	632	299	54.8	20.7	5.6	71.9	13.4	32.1	1.8	17		
Les Vignes	Source de Beldoire camping (10/06/03)	13.39	7.27	515	293	3.3	4.9	35.2	76.1	16.2	2.3	1.0	13		
Les Vignes	Le Villaret (10/06/03)	11.6	7.43	490	311	3.1	4.4	4.8	65.6	21.6	1.2	0.5	9		
Rivière-sur-Tarn	Source de Bertoide (10/06/03)	12.5	7.35	626	373	6.1	5.4	25.1	100.4	16.3	2.8	1.5	16		
Rivière-sur-Tarn	Source Fontcaud (10/06/03)	11.7	7.28	585	338	8.2	7.5	29.7	79.4	24.2	4.0	2.1	15		
Rivière-sur-Tarn	Source du forage de Trébanes (11/06/03)	25	7.60	693	395	5.0	0.2	53.9	13.0	10.8	12.0	3.0	15		
Rivière-sur-Tarn	Source Trébanes (11/06/03)	12	7.36	491	262	4.8	5.2	7.0	43.6	26.6	1.7	0.7	13		
Rivière-sur-Tarn	Source Les Louines (Cap.AEP)	10.9	7.43	519	315	5.0	4.2	9.4	59.0	27.8	3.3	0.8	13		
Mostuejols	Source près de la route (10/06/03)	19.3	8.26	563	257	14.3	28.1	33.7	65.6	21.6	5.7	5.5	22		
Mostuejols	Source Muse 1 (amont) (10/06/03)	12.3	7.28	468	294	2.2	2.7	4.2	59.7	20.4	1.1	0.3	11		
Mostuejols	Source du Château (10/06/03)	14.3	8.12	509	313	3.5	0.5	10.9	59.6	23.8	1.6	0.5	19		
Mostuejols	Source du château de la Muse 1 (10/06/03)	12.3	7.39	467	296	2.3	2.8	4.2	61.6	20.8	1.2	0.4	11		
Mostuejols	Source du Mas de Lafon 2 (10/06/03)	12.5	7.57	450	286	3.0	0.9	4.8	55.0	23.2	1.4	0.2	7		
St Martin-de-Lenne	Source de Lenne (18/06/03)	10.6	7.37	518	205	3.2	2.8	3.3	57.4	5.9	1.1	0.5	9		
St Martin-de-Lenne	Source de Font Frège (18/06/03)	12.3	8.18	754	332	33.2	25.1	62.2	100.8	18.4	16.1	7.9	19		
St Martin-de-Lenne	Source de Monsieur Colérat (18/06/03)	15.9	7.71	420	267	2.6	0.5	5.5	65.6	11.2	1.3	0.3	11		
Pierrefiche	Source de Galinière 1 (16/06/03)	11.7	7.53	494	301	3.0	8.5	3.9	92.4	5.2	1.3	0.4	11		
Pierrefiche	Source de Galinière 2 (16/06/03)	11.3	7.32	379	352	4.8	8.8	4.7	108.3	5.5	1.6	0.5	16		
Pierrefiche	Source de Galinière 3 (17/06/03)	12.6	7.51	501	316	2.5	2.7	3.5	92.0	5.2	1.2	0.3	12		
Pierrefiche	Source de Galinière 4 (17/06/03)	12.5	7.28	506	306	2.6	3.7	3.1	98.4	3.0	1.3	0.4	20		
Pierrefiche	Source de Glassac 2 (17/06/03)	14.6	8.35	600	351	10.4	14.5	16.3	72.0	27.3	3.2	8.1	20		
Pierrefiche	Mont Rouch 2 (17/06/03)	11.2	7.27	536	330	4.0	5.4	2.8	112.2	1.1	1.2	0.3	6		
Pierrefiche	Mont Rouch 2 (17/06/03)	12.8	6.97	733	393	21.2	35.4	10.3	143.4	2.7	3.4	15.9	10		
Pierrefiche	Source de la Borie (réservoir) (17/06/03)	12.3	7.32	726	433	8.9	24.5	13.5	84.2	45.2	2.4	3.3	17		
Campagnac	Source du Bois Countat 1 (19/06/03)	12.1	7.87	552	339	4.0	4.9	10.3	56.2	34.5	1.6	0.6	14		
Campagnac	Source d'Aiguevives 2 (19/06/03)	11.7	7.49	679	433	5.3	8.2	10.2	80.9	42.6	2.3	3.0	14		
Campagnac	Source du Téron (19/06/03)	10.3	7.63	628	357	5.2	0.7	10.1	63.8	34.8	2.1	0.4	9		
Campagnac	Source des Courtinaux 2 (19/06/03)	11.1	7.83	577	298	17.8	20.4	17.0	93.4	9.2	8.7	8.1	18		
Campagnac	Source du Vialaret	15.1	7.69	485	283	4.5	2.5	28.5	81.8	8.6	2.2	1.1	14		
St Saturin-de-Lenne	Lestang, source Pujol (18/06/03)	10.8	7.30	496	267	3.3	5.3	3.3	68.5	12.1	1.3	0.4	9		
St Saturin-de-Lenne	Lestang, exurgence St Saturin (18/06/03)	10.9	7.31	495	309	3.3	5.9	3.5	77.5	12.4	1.6	0.5	9		
St Saturin-de-Lenne	Lestang, exurgence du jardin (18/06/03)	11	7.60	473	291	5.0	4.7	5.6	75.0	11.8	2.1	0.5	10		
St Saturin-de-Lenne	Source alimentant Grun (18/06/03)	12.1	7.77	500	307	6.3	2.3	9.2	62.7	23.1	2.7	0.6	10		
St Saturin-de-Lenne	Source à côté d'Orbis (18/06/03)	12.4	7.63	576	344	6.3	8.1	8.4	87.7	12.5	1.7	0.3	9		
St Saturin-de-Lenne	Source d'Orbis 1+2 (19/06/03)	10.9	7.22	542	298	3.2	2.1	4.2	71.0	7.3	1.3	0.2	10		
St Saturin-de-Lenne	Source le Candierou (19/06/03)	11.3	7.16	594	345	4.0	2.3	16.3	86.3	17.0	1.6	0.7	10		
St Saturin-de-Lenne	Source du Cotombier (Roquaroul) (19/06/03)	11.1	7.09	595	348	7.2	16.3	14.3	95.3	13.0	2.7	4.4	16		

Commune	Libelle	T °C	pH	e2S °C	HCO3-	Cl-	NO3-	SO4--	Ca++	Mg++	Na+	K+	SiO2
MOSTUEJOULS	Galerie Trulhas (03/07/03)				163	3.84	0.74	8.21	21.2	25.7	1.65	0.60	
MOSTUEJOULS 1	Rest. Mas DLFond (03/07/03)				315		0.11	15.02	91.6	19.7	1.59	0.21	
SEVERAC	Src Grand Virage (03/07/03)				107	3.28	2.86	27.92	25.1	12.3	5.60	1.01	
MOSTUEJOULS 2	Src de Bellevieille (03/07/03)				373		0.32	3.23	75.0	39.1	1.15	0.30	
Rivière/Tarn	Src Les Angles (04/07/03)				83	5.79	21.3	14.63	32.0	6.5	2.55	1.01	
SEVERAC 1	Src d'Ergayrésque (03/07/03)				154	16.07	14.8	5.34	23.0	23.8	8.39	8.15	

Mai 2004 (92 échantillons) moyenne eaux

* Valeurs affectées par précipitation

Date	Nom des échantillons	Mesures terrain			* HCO ₃ ⁻	Mesures laboratoire mg/L							
		T°C	pH	χ ₂₅ °C		Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂
13/05/04	Argeliès	10.7	7.67	535	286	14.08	4.90	7.01	59.66	34.56	4.04	3.11	12.5
13/05/04	Samonta AEP	11.4	7.42	481	248	8.03	19.01	17.45	85.98	7.05	2.44	0.88	8.4
13/05/04	Aveyron	10.6	7.28	626	208	15.31	31.57	8.89	93.73	19.95	5.44	1.37	7.3
13/05/04	Dragonnières	10.6	8.25	485	253	11.94	22.07	5.81	55.70	27.61	5.39	2.13	4.5
13/05/04	Montaliès	8	7	102	46	2.63	7.04	8.53	8.78	2.95	4.01	0.62	13.3
13/05/04	En face Maison Cayrac	11	7.77	436	65	2.67	9.45	6.13	15.16	4.14	0.56	0.17	3.5
13/05/04	Muraillasse	9.2	7.49	392	214	5.95	8.79	12.11	50.80	17.58	4.25	0.70	8.9
13/05/04	Douzes	11.9	7.79	655	210	34.76	9.37	38.61	101.70	13.46	13.67	0.90	6.8
18/05/04	Bellas	11.1	7.21	602	198	7.87	38.53	18.02	111.40	7.58	2.06	0.63	6.9
18/05/04	Villaret (betones)	11.2	7.21	510	234	6.92	14.99	9.28	94.52	5.29	1.91	3.49	7.9
28/05/04	Le Rouquet	10.7	7.24	677	292	5.38	2.22	5.04	86.97	40.20	2.37	1.00	2.4
18/05/04	Blayac	9	7.58	668	189	9.38	2.10	41.12	113.30	11.61	2.33	1.28	6.4
18/05/04	Fonds	12.1	7.43	548	284	7.35	6.40	9.83	79.09	22.89	2.04	0.88	5.3
28/05/04	Valadas 1	10.1	7.52	543	186	3.14	5.22	3.66	90.60	14.08	1.21	0.53	5.5
28/05/04	Valadas 2	11.2	8.24	494	163	6.83	4.97	11.69	79.51	13.13	3.02	0.65	5.8
19/05/04	Résuenhe	12.5	7.29	550	122	6.53	17.13	6.01	99.36	9.88	1.76	0.51	4.1
19/05/04	Moulin de Maffre	11.7	7.29	557	125	6.06	17.80	6.95	99.29	11.71	1.82	0.90	4.6
19/05/04	Versières	11	7.73	636	221	4.98	9.61	4.63	133.90	2.86	3.05	0.62	6.2
25/05/04	Bouissettes	12.2	8.02	645	194	8.84	26.12	15.56	87.94	27.10	3.14	3.76	5.8
11/05/04	Baumes	10.6	8.13	479	117	4.48	9.35	3.50	77.06	11.96	1.24	0.30	3.3
07/06/04	le Duc	11.5	7.33	651	316	4.80	4.03	4.14	86.61	34.56	2.75	0.78	3.1
07/06/04	Pertuzade	12.8	7.39	552	313	3.15	10.68	7.30	107.20	3.26	2.38	5.77	5.8
19/05/04	Gagnac	12	7.42	748	239	11.04	27.35	20.02	84.42	44.24	4.88	8.90	6.5
18/05/04	Gaillac	12.3	7.38	712	209	9.43	28.10	38.14	85.72	44.88	2.58	1.41	5.4
28/05/04	Verteillac	9.7	7.81	379	153	6.21	18.27	7.07	55.28	13.39	1.56	0.68	5.2
28/05/04	Canilhac	10.3	8.06	338	162	4.20	9.48	6.92	49.26	12.36	1.18	0.27	4.8
18/05/04	Pouzetes	11.6	7.63	734	238	8.35	20.07	10.69	83.17	46.20	3.17	0.90	7.5
18/05/04	Aval Pouzetes	13.4	7.9	721	174	3.19	9.06	4.54	28.97	21.95	1.27	0.22	4.4
18/05/04	Terron	10.9	7.42	551	192	4.13	8.90	4.72	73.56	29.33	2.63	0.44	10.4
18/05/04	Sept fonds	12.8	8	760	281	12.34	31.23	15.86	80.08	47.81	3.03	0.91	6.1
18/05/04	Latine	11.6	7.58	611	217	10.74	13.84	9.82	87.09	23.91	3.75	0.90	13.2
18/05/04	Vasque Roque	13.9	7.44	608	210	12.05	24.18	20.09	92.74	17.50	5.03	2.84	4.9
18/05/04	Cornuejols	11.1	7.31	695	223	10.13	27.50	10.04	80.36	38.03	3.59	5.84	6.3
18/05/04	Bès	13.3	8.29	584	267	3.35	1.28	3.86	77.22	31.90	1.78	2.90	4.8
18/05/04	Trivalle	13.1	7.5	605	224	5.83	23.66	9.80	78.02	30.81	2.39	0.99	5.3
18/05/04	Roque (ancien captage)	11.4	7.37	589	194	11.24	15.29	14.84	88.24	17.70	4.75	1.72	4.0
18/05/04	Aval station ségala	17.4	8.15	586	206	3.89	0.65	34.70	84.50	19.98	2.35	0.83	3.7
18/05/04	Moulin de Gary	11.3	7.35	588	159	10.76	14.95	14.76	87.25	17.55	4.80	1.64	4.1
19/05/04	Esparses 2	12.9	7.39	552	178	6.00	13.40	4.61	84.59	17.92	1.87	1.00	5.1
19/05/04	Esparses 3	13.3	7.29	530	131	5.61	10.15	5.53	94.36	7.66	1.54	0.43	3.9
19/05/04	Aval Mayrinhac	16.6	8.02	104	29	7.99	13.88	3.59	6.74	3.74	3.23	1.73	7.5
19/05/04	Parayre Scierie	15.2	7.68	231	107	10.78	4.79	6.09	21.83	8.63	4.10	3.92	8.4
11/05/04	Le Parisien	11.1	7.52	526	175	11.08	15.39	5.49	86.11	11.83	6.67	1.07	5.7
11/05/04	Beldoire 2ième captage	12.7	7.3	542	185	4.29	6.26	27.52	85.13	17.39	2.72	1.06	5.3
11/05/04	Pas de Soucis	11.5	7.44	533	226	4.95	7.15	19.26	88.23	14.58	2.62	0.96	4.2
11/05/04	Le Villaret	11.1	7.69	524	186	3.86	8.68	4.51	70.94	23.37	1.56	0.58	3.2

* Valeurs affectées par précipitation

Date	Nom des échantillons	Mesures terrain			* HCO ₃ ⁻	Mesures laboratoire mg/L							
		T°C	pH	χ _{25°C}		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
13/05/04	Berthoyre	11.8	7.39	613	104	3.03	3.82	18.34	37.89	8.65	1.29	0.84	3.7
13/05/04	Fontcaud	20.1	7.19	676	207	4.17	1.35	110.29	93.08	35.00	2.76	2.25	9.4
13/05/04	Forage de Treban	23.4	7.79	669	203	2.76	0.21	17.29	11.06	7.10	55.31	1.54	18.7
13/05/04	Treban	11.8	7.44	480	178	3.23	5.91	4.01	43.90	20.49	1.13	0.52	3.9
13/05/04	Léoune	10.3	7.57	529	108	1.86	1.89	3.10	17.52	10.23	0.90	0.35	2.8
13/05/04	Angle	10.7	7.91	440	87	4.71	10.00	8.94	26.80	4.77	1.73	0.57	7.8
13/05/04	Vernède	11.4	7.27	659	101	6.62	7.81	24.85	33.36	10.49	2.73	1.96	4.6
11/05/04	Prés de la route 1	11.9	7.43	520	235	3.28	4.30	5.59	87.14	19.37	1.46	0.51	4.5
11/05/04	Prés de la route 2	11.8	7.73	611	239	14.74	31.81	40.67	89.70	22.73	7.47	6.40	9.1
11/05/04	Muse 1	11.9	7.52	519	162	3.12	4.03	5.80	56.28	18.81	1.31	0.37	4.4
11/05/04	"Château"	11.9	8.2	493	194	4.29	0.30	12.15	41.32	23.11	1.85	0.37	8.0
11/05/04	Château Muze 1	12	7.39	520	185	3.18	3.99	6.50	58.89	19.28	1.40	0.44	4.4
11/05/04	Mas de Lafon 2	12.1	7.73	486	206	2.67	0.37	4.17	53.41	24.47	1.38	0.18	2.6
11/05/04	Bellevielle	9.9	7.6	575	250	2.14	0.22	2.71	44.99	36.60	1.04	0.07	1.2
11/05/04	Galerie	12	7.87	498	186	4.35	0.35	13.69	58.40	23.31	1.95	0.39	7.9
11/05/04	Liaucous	11.1	7.85	555	265	8.92	27.99	23.07	76.58	18.20	6.77	23.33	11.5
25/05/04	Lenne	10.8	7.26	538	200	4.30	4.41	4.64	116.70	5.34	1.44	0.83	3.6
25/05/04	Font Frège	12.8	7.92	701	177	12.64	26.71	26.27	120.30	18.55	7.41	5.71	7.4
25/05/04	M Colerat	11.1	7.94	499	171	2.84	0.32	7.18	59.92	12.88	1.34	0.25	3.8
25/05/04	Théron	12.1	7.38	582	134	2.40	0.09	12.04	76.57	11.13	1.36	0.23	3.9
19/05/04	Galinières 1	11	7.21	523	197	3.20	5.41	4.46	101.10	4.77	1.36	0.47	3.8
19/05/04	Galinières 4	11.1	7.15	522	128	2.86	5.17	4.04	83.79	4.23	1.28	0.35	3.7
19/05/04	Galinières 5	18	7.61	625	108	6.12	9.19	7.20	94.23	3.71	1.78	0.52	5.1
19/05/04	Montrouch nord	12.7	7.34	529	117	3.22	8.91	3.13	86.59	1.21	1.15	0.32	2.4
25/05/04	Borie	11.5	7.24	766	258	10.86	28.88	10.70	80.03	48.26	2.99	4.79	6.6
25/05/04	Moulin	12.5	8.37	600	268	9.51	17.28	13.35	104.00	23.65	3.56	10.14	7.9
25/05/04	Trou du souci	13.8	8.08	488	156	4.45	5.90	5.82	70.49	14.59	1.73	1.12	1.7
28/05/04	Le Téron	11.2	7.94	562	226	5.08	6.44	9.86	69.23	30.14	2.46	1.22	3.2
28/05/04	Courtinaux 2	11	7.76	616	297	14.96	24.72	22.48	116.00	8.43	7.80	11.06	8.7
28/05/04	Le vialaret 1	10.7	7.43	526	136	3.16	4.39	4.29	75.23	8.31	1.29	0.77	3.6
28/05/04	Le vialaret 2	10.8	8.11	512	117	3.15	3.32	4.25	52.91	7.91	1.28	0.67	4.1
07/06/04	Caumels	9.4	7.07	640	296	4.84	1.52	3.01	96.61	36.40	2.64	0.28	2.0
28/05/04	Saint-Urbain	10.9	7.48	530	151	7.69	30.22	7.96	99.31	9.16	2.11	1.45	7.0
07/06/04	Termenous	14.1	7.82	509	267	2.38	0.80	1.65	72.95	25.71	1.45	0.96	1.8
25/05/04	Pujol	10.6	7.37	519	171	3.76	6.78	4.24	70.57	14.27	1.37	0.36	3.2
25/05/04	Lestang	10.5	7.36	533	171	3.71	7.50	3.83	79.66	12.92	1.36	0.34	3.3
25/05/04	du jardin	12.5	7.93	486	143	4.78	8.25	5.36	65.51	11.93	1.78	0.37	3.7
25/05/04	A côté d'Orbis	12.2	8.2	552	185	6.24	22.89	11.21	104.60	13.30	1.80	2.77	3.7
25/05/04	Orbis 1	11.3	8.06	496	171	3.93	4.52	4.16	73.42	5.70	1.27	0.29	3.7
25/05/04	Orbis 2	10.6	7.42	552	137	3.98	5.94	4.54	100.10	9.95	1.40	0.29	3.7
28/05/04	Candiérou	10.6	7.57	560	183	3.91	4.35	11.43	82.15	14.32	1.66	1.50	4.0
28/05/04	Le colombier	11	7.24	576	191	4.12	15.50	11.78	113.20	12.59	2.27	2.50	5.7
07/06/04	Fontaine Montagnac	10.6	7.71	523	267	1.81	0.60	2.01	72.58	30.88	1.14	0.20	1.6
25/05/04	La Fontaine Orbis	10.8	7.27	602	191	4.41	4.87	14.45	112.00	15.07	1.62	1.32	5.0
28/05/04	le Théron	9.9	7.47	526	236	3.97	5.86	3.82	81.62	17.13	1.52	0.49	2.7
25/05/04	Lestang, puits du syndicat				223	3.76	1.91	4.80	70.60	16.08	1.61	0.27	2.9

1.6 Estimation des apports d'eaux souterraines du Causse de Sauveterre et du Causse Méjean au Tarn entre Ispagnac et le Rozier

Tournée de terrain du 26 août 2003

Laurent DANNEVILLE, Responsable du service eau, hydrogéologue
Alexis ROBERT, chargé de mission eau

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique du Causse de Sauveterre (partie ouest et partie est), le Parc naturel régional a souhaité entreprendre une campagne de jaugeages afin d'estimer les apports d'eaux souterraines au Tarn entre Ispagnac et le Rozier. Les conditions hydrologiques actuelles, avec des niveaux bas, permettaient d'effectuer des jaugeages précis dans de bonnes conditions.

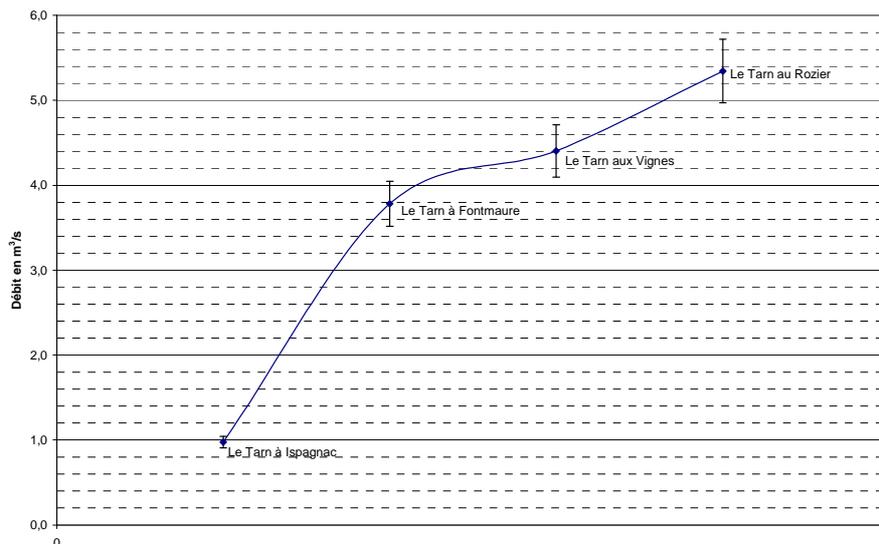
Quatre jaugeages ont été réalisés (cf. photographies) (cf. carte jointe) :

- le premier à Ispagnac (à l'entrée des gorges du Tarn), au niveau du premier pont en amont d'Ispagnac ;
- le deuxième en amont du Pas de Souci, au niveau de la source de Fontmaure ;
- le troisième à aval du Pas de Souci, au niveau du pont des Vignes afin d'estimer les apports des sources de Beldoire;
- la quatrième à Mostuéjols, en aval du pont permettant de rejoindre le Rozier, à la sortie des gorges du Tarn.

Ces jaugeages ont été effectués à l'aide d'une perche Pirée.

Les résultats :

	Débit	Augmentation du débit
	m3/s	m3/s
Le Tarn à Ispagnac	0,975	---
Le Tarn à Fontmaure	3,781	2,806
Le Tarn aux Vignes	4,404	0,623
Le Tarn au Rozier	5,345	0,941



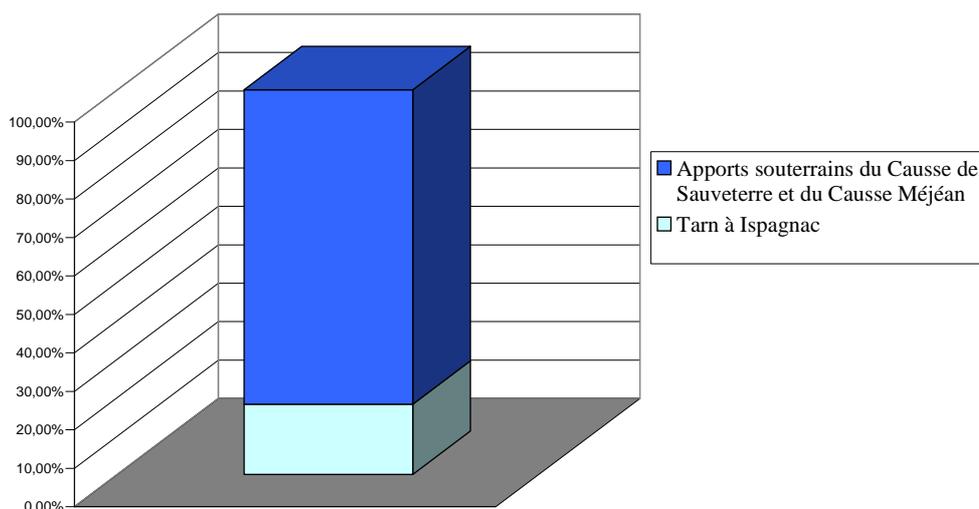
(Débits du Tarn avec les plages d'incertitude)

Les apports d'eaux souterraines sont très nettement visibles. Il existe une augmentation importante des débits du Tarn entre Ispagnac et Fontmaure (+ 2.8 m3/s).

Le débit mesuré aux Vignes permet d'estimer le débit des sources de Beldoire qui serait de 623 l/s. Ce résultat, s'il se confirme, fait des sources de Beldoire, le premier exutoire du Causse de Sauveterre.

Le débit du Tarn au Rozier est de 5,345 m3/s, soit une augmentation de 4.37 m3/s par rapport au Tarn à Ispagnac. Ceci permet d'estimer à **82 % l'apport des eaux souterraines provenant du Causse de Sauveterre et du Causse Méjéan.**

La gestion et la protection des eaux souterraines des Causses apparaissent donc comme primordial pour la rivière Tarn.



Quelques mesures de températures, pH et conductivités ont été réalisées ce même jour (cf. tableau).

	Conductivité μS/cm	Température °C	pH
Le Tarn à Ispagnac	172	21,4	7,85
Le Tarn à Fontmaure	332	19,9	8,25
Le Tarn aux Vignes	375	19,5	7,85
Le Tarn au Rozier	378	20,0	8,28
Source de Beldoire	517	12,8	7,30

L'augmentation de la conductivité entre Ispagnac et le Rozier est aussi un indicateur des apports souterrains des Causses.

Fait le 27 août 2003 à Millau



Ispagnac



Au niveau de Fontmaure (en amont du Pas de Souci)



A Mostuéjols

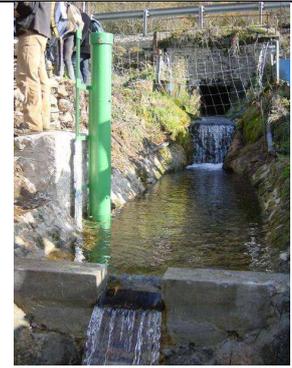
1.7 Fiche synthétique par sources karstiques

Nom : Bastide

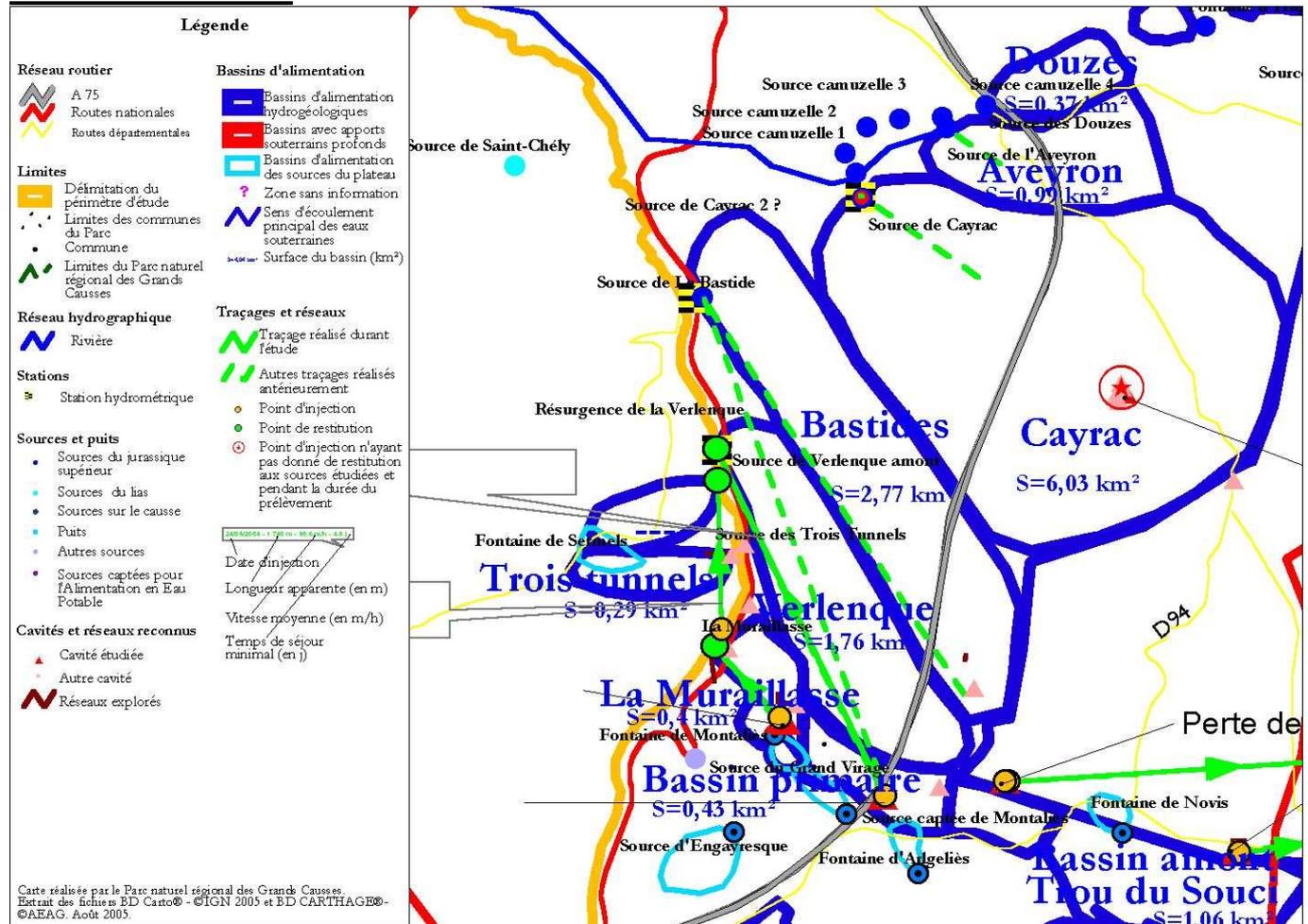
N° Banque du Sous-Sol : 0885-7X-0010/HY

Commune : Sévérac-le-Château

Utilisation pour l'AEP : Non (anciennement pour la SNCF)



Bassin d'alimentation :



Superficie = 2,77 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Valeurs moyennes pour les deux cycles hydrologiques
Qmoy (m3/s)	0.029	0.049	0.038
Qjmin (m3/s)	0.015	0.015	0.015
Qjmax (m3/s)	0.359	0.319	0.359

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) =environ 0.9 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.8	6.8	350	66	262.5	2.6	4.8	3.6	77.6	7.8	1.2	0.2
maximum	12.0	7.6	498	103	345.5	11.5	17.4	6.3	93.3	16.1	6.1	2.2
moyenne	10.9	7.3	458	86	291.7	4.8	9.8	4.7	86.2	13.4	2.1	0.7

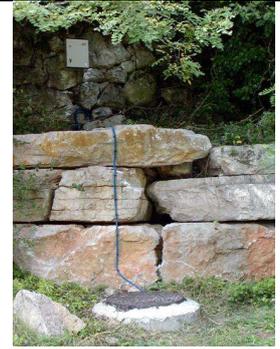
Tracages (restitution) : Pas de nouveaux tracages dans le cadre de cette étude. Anciens tracages existants.

Nom : Beldoire

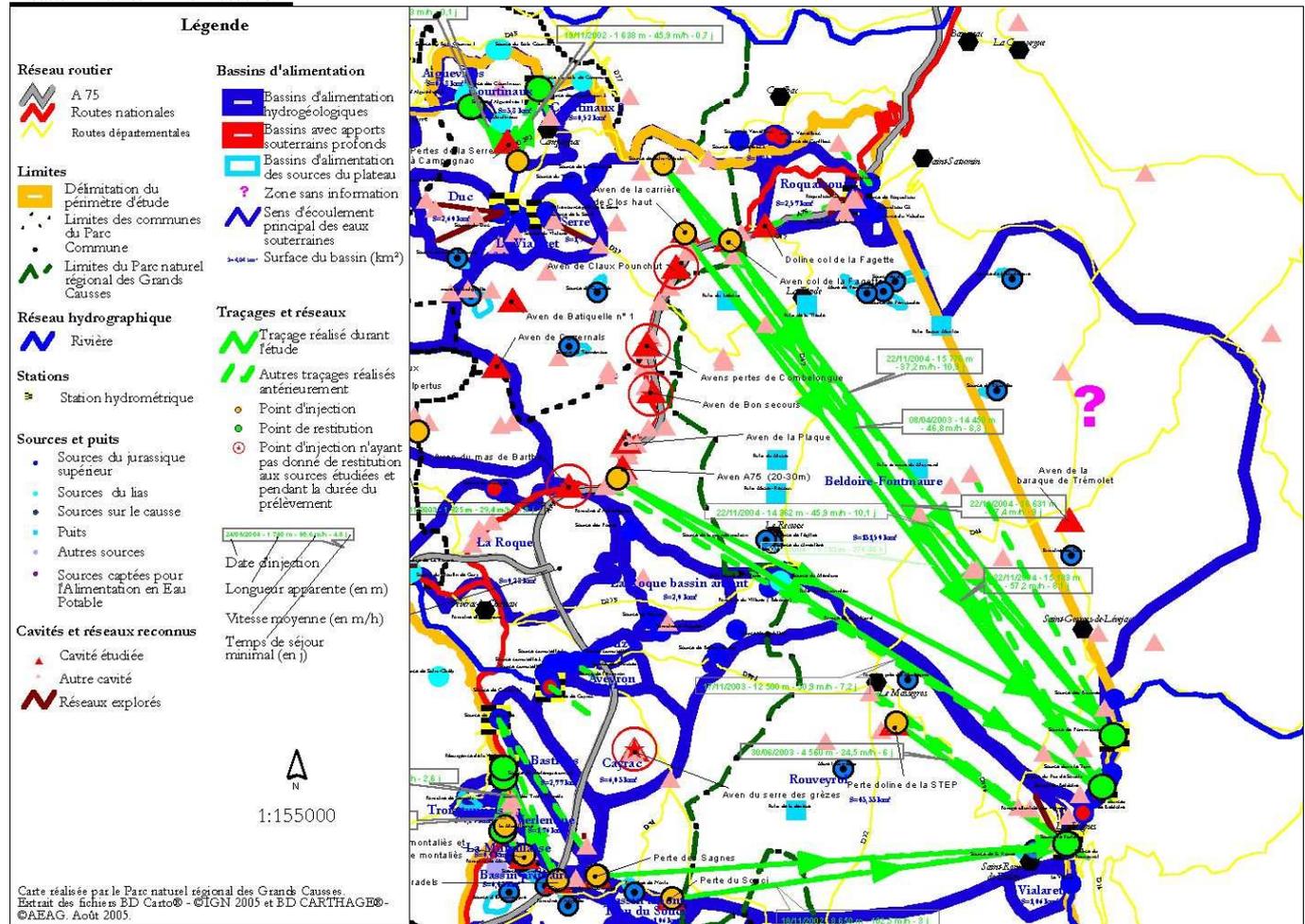
N° Banque du Sous-Sol :
0885-8X-0210/S

Commune : Les Vignes

Utilisation pour l'AEP : Oui
Camping de Beldoire



Bassin d'alimentation :



Superficie = 131,5 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.205	0.472	0.326
Qjmin (m3/s)	0.055	0.115	0.055
Qjmax (m3/s)	0.770	3.050	3.050

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) =environ 8 Mm³ (pour la partie mesurée)

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	10.5	7.3	392	70	269.0	3.0	4.2	20.4	79.5	14.5	2.3	0.8
maximum	12.5	7.6	556	89	366.0	5.4	9.3	32.7	97.7	18.7	3.3	1.5
moyenne	11.8	7.4	508	80	308.4	4.1	6.3	26.0	88.9	17.0	2.5	1.0

Tracages (restitution) : oui

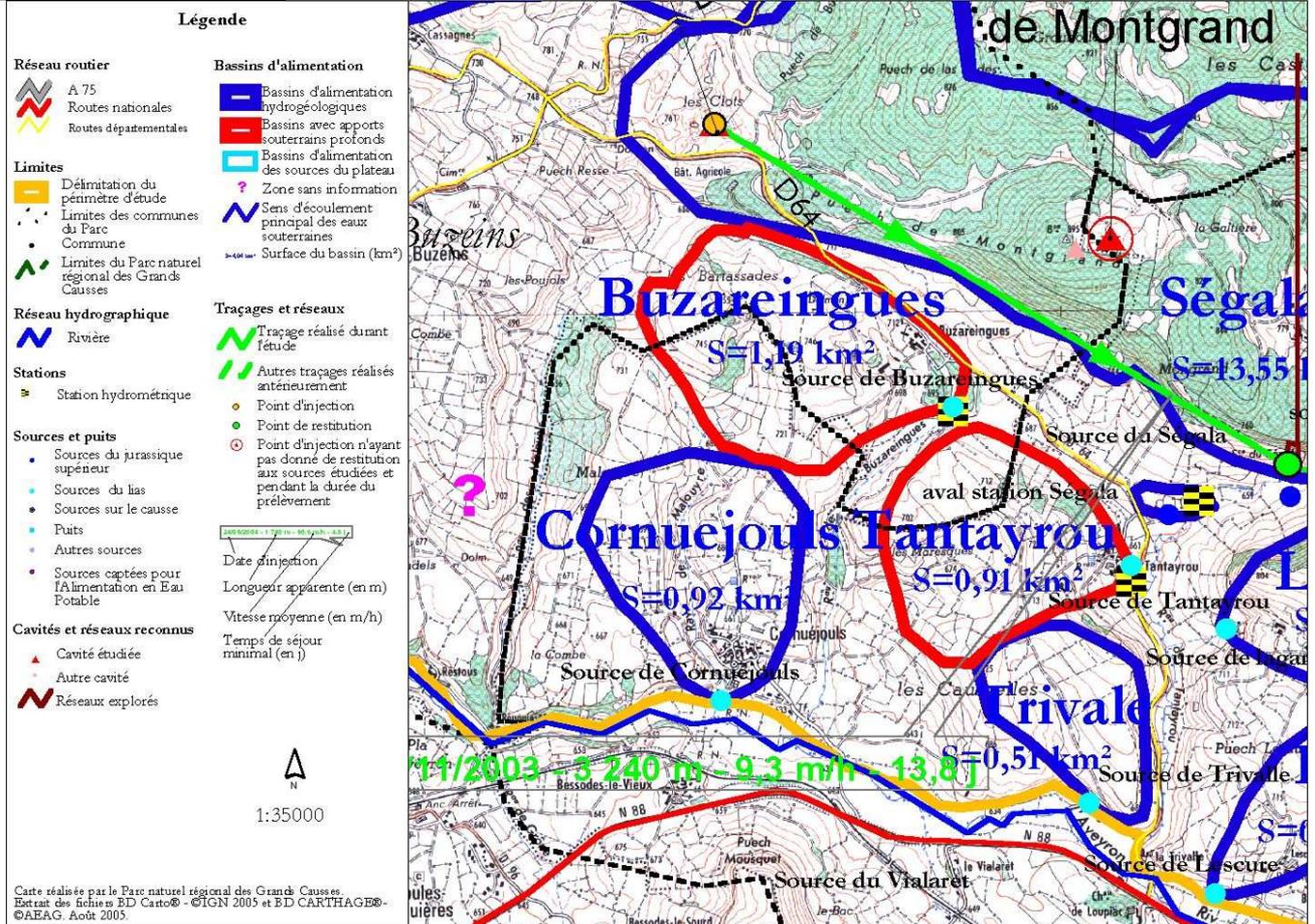
N° d'identification du tracage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendu	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12/8 Aveyron (début)	Aven du col de la Fagette – Campagnac (Aveyron)	X = 0663,763 Y = 1933,093 Z = 860 m	Calcaire litho-graphique (Bathonien)	8 avril 2003 8h35 TU – Injection de 12 000 l d'eau	Sulforhodamine G 500 g Durée : 20 mn	Scie de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimmérid-gien inf.)	16 avril 2003, 16h00 TU 237 < Q < 293 l/s
1/12 Aveyron	Aven de l'A 75 Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0661,348 Y = 1927,888 Z = 870 m	Calcaire litho-graphique Kimmeridgien	17 novembre 2003, 9h36 TU	Uranine 5 000 g Brève	Scie de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimmérid-gien inf.)	24 novembre 2003, 15h00 TU
1/12 Aveyron	Aven de la carrière du Clos-Haut Campagnac	X = 0662,813 Y = 1933,308 Z = 804 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	22 novembre 2004, 15h37 TU Injection de	Uranine 400 g	Scie de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimmérid-gien inf.)	30-nov-2004, 18h00 TU 217 < Q < 233 l/s
1/12 Aveyron	Perte de la fontaine de Saint-Urbain	X = 0662,348 Y = 1934,753 Z = 817 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	22 novembre 2004, 14h05 TU Débit ~ 0,25 l/s	Sulforhodamine B 1000 g	Scie de Beldoire Les Vignes (Lozère)	X = 0671,878 Y = 1921,129 Z = 422 m	Dolomie (Kimmérid-gien inf.)	1er décembre 2004, 14h00 TU 225 < Q < 267 l/s
12/8 Aveyron (fin)	Aven du col de la Fagette – Campagnac (Aveyron)	X = 0663,763 Y = 1933,093 Z = 860 m	Calcaire litho-graphique (Bathonien)	8 avril 2003 8h35 TU – Injection de 12 000 l d'eau	Sulforhodamine G 500 g Durée : 20 mn	Pas de Souci Les Vignes (Lozère)	X = 0671,990 Y = 1921,344 Z = 426 m	Dolomie (Kimmérid-gien inf.)	

N° d'identification du traçage Département	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-1	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution de masse	Section moyenne des drains en m²
12/8 Aveyron (début)	14 450	438	3,03	≤ 3,03	199,4	72,5	0,398 ng/ml	277,4	52,1	2,44.10 ⁻⁶	324,5	46,8	44,5	7,85 39,3 g	18,1
1/12 Aveyron	12 500	448	3,58	< 3,34	173,4	72,1	0,144 ng/ml	266,2	47,0	3,18.10 ⁻⁶	259,8	50,9	48,1	0,54 26,8 g ≥ 4,14	60,8
1/12 Aveyron	15 183	382	2,52	≤ 2,18	194,4	78,1	0,370 ng/ml	236,1	64,3	5,00.10 ⁻⁶	276,4	57,2	54,9	≥ 16,6 g	14,7
1/12 Aveyron	16 631	395	2,38	≤ 2,38	215,9	77,0	0,812 ng/ml	268,9	61,8	1,75.10 ⁻⁶	382,7	47,4	43,5	≥ 10,65 ≥ 106,5 g	18,6
12/8 Aveyron (fin)	14 350	434	3,02	≤ 3,02											

Nom : Buzareingues
N° Banque du Sous-Sol :
 A définir par le BRGM
Commune : Buzéins
Utilisation pour l'AEP : Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 1,19km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.021	0.034	0.027
Qjmin (m3/s)	0.005	0.007	0.005
Qjmax (m3/s)	0.107	0.085	0.107

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) =environ 0.2 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.3	7.3	397	62	318.4	2.6	1.9	3.7	84.7	17.7	1.4	0.2
maximum	11.9	7.7	581	95	380.6	6.3	10.4	10.0	101.4	21.4	2.2	4.8
moyenne	10.8	7.4	514	84	340.5	3.7	4.0	5.8	91.9	19.0	1.7	1.7

Tracages (restitution) : Non

Nom : CAYRAC

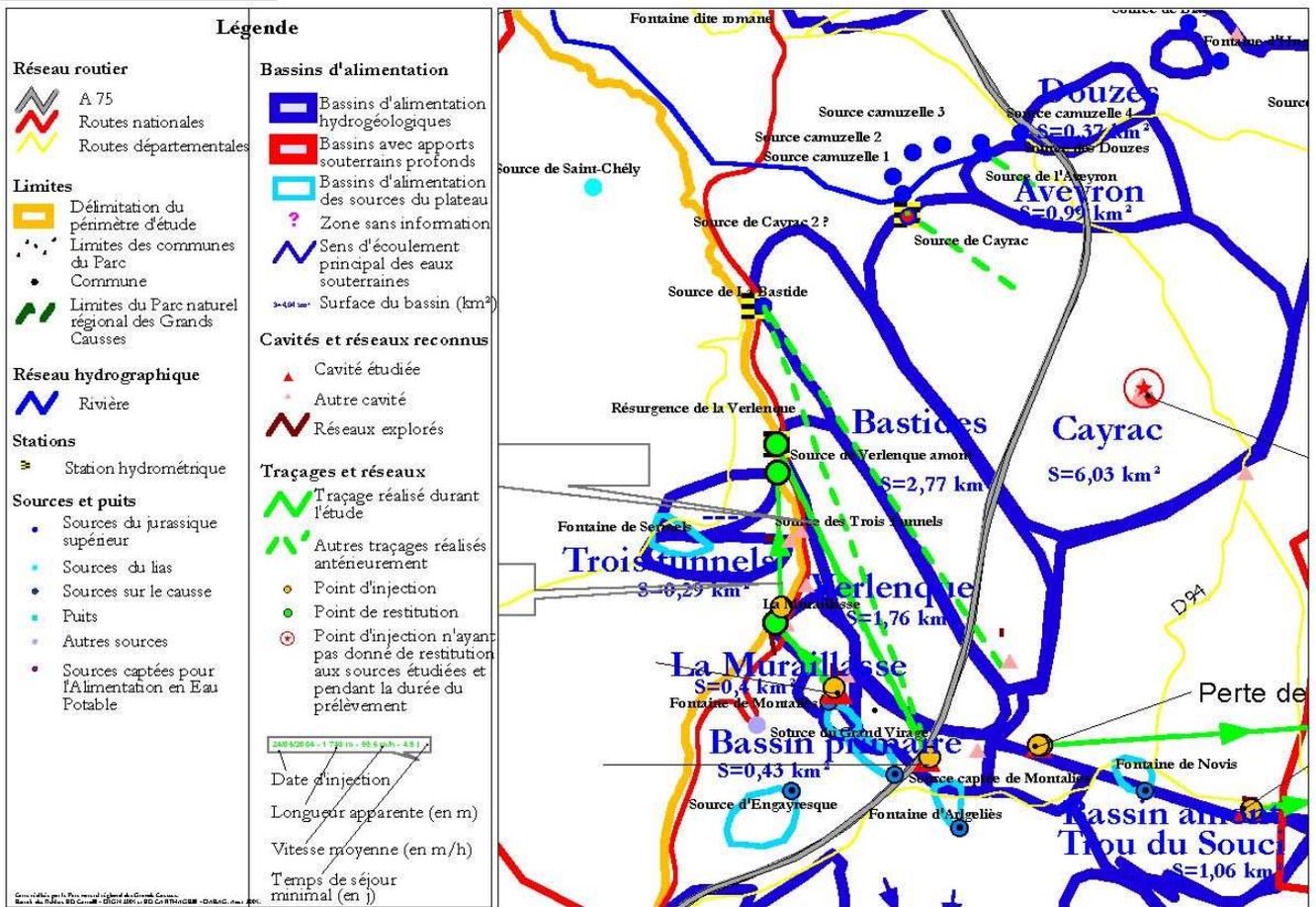
N° Banque du Sous-Sol :
0885-7X-0013/HY

Commune : Sévérac-leChateau

Utilisation pour l'AEP : oui
Sévrac-le-Château
SIAEP du Massegros
SIAEP de la haute vallée de l'Aveyron



Bassin d'alimentation :



Superficie = 6.03 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.066	0.090	0.077
Qjmin (m3/s)	0.045	0.045	0.045
Qjmax (m3/s)	0.178	0.215	0.215

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) =environ 2 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)								
De septembre 2002 à août 2003	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
minimum	10.0	7.1	356	70	259.9	4.0	9.6	3.7	70.8	13.9	1.5	0.4	9.8
maximum	12.5	7.7	492	101	329.4	5.2	11.6	5.2	82.1	19.1	2.1	0.9	13.0
moyenne	11.2	7.5	441	87	282.8	4.6	10.5	4.4	76.5	17.5	1.7	0.7	12.1

Tracages (restitution) : Pas de nouveaux tracages dans le cadre de cette étude. Anciens tracages existants.

Nom : Courتناux

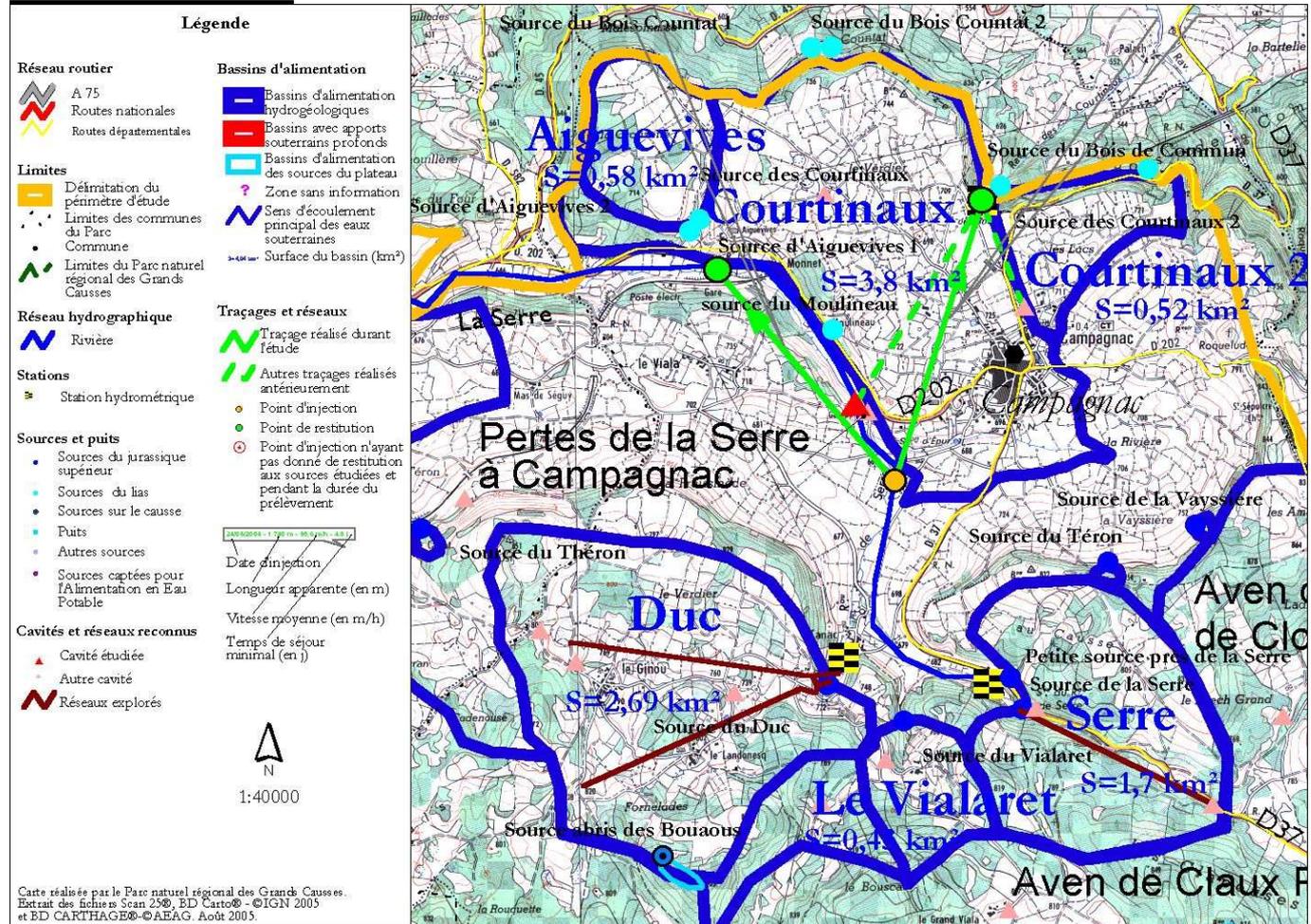
N° Banque du Sous-Sol :
0885-3X-0003/HY

Commune : Campagnac

Utilisation pour l'AEP : Non
Anciennement utilisée pour la commune de Saint-Laurent-d'Olt



Bassin d'alimentation :



Superficie = 3,8 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.062	0.101	0.079
Qjmin (m3/s)	0.005	0.005	0.005
Qjmax (m3/s)	1.195	1.300	1.300

Réserves estimées en Millions de m3 (volume dynamique) =environ 0.1 Mm3

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.4	7.4	473	62	314.8	8.3	13.3	11.7	92.4	14.5	3.2	3.2
maximum	13.5	8.0	650	105	380.6	20.4	24.6	27.2	115.2	21.2	10.5	7.2
moyenne	10.9	7.7	587	88	336.3	13.6	17.9	17.3	101.1	17.0	6.6	4.8

Tracages (restitution) : oui

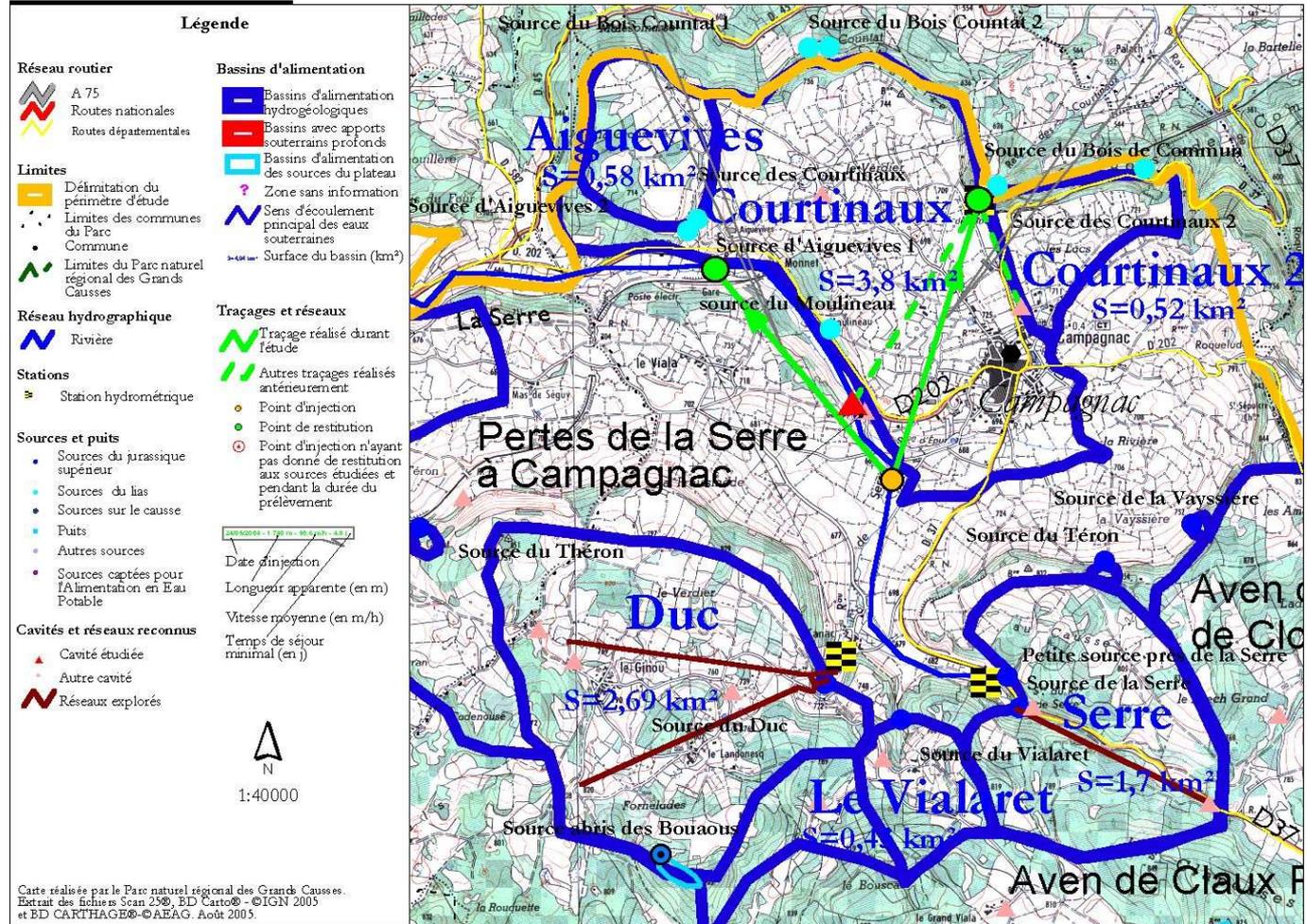
N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12/1	Ruisseau de Serre Campagnac	X = 0659,166 Y = 1934,819 Z = 670 m	Calcarénites massives (Lotharingien)	19 novembre 2002, 12h20 TU Q = 86 l/s	Eosine gamma 100 g Brève	Ruisseau de Serre à la gare de Campa-gnac (Aveyron)	X = 0658,181 Y = 1936,001 Z = 655 m	Marnes et calcaires du Carixrien	19-nov 2002, 14h00 TU 92 l/s
12/2	Ruisseau de Serre Campagnac	X = 0659,166 Y = 1934,819 Z = 670 m	Calcarénites massives (Lotharingien)	19 novembre 2002, 12h50 TU Q = 86 l/s	Rhodamine WT 1000 ml Injection continue	Ruisseau de Serre à la gare de Campa-gnac (Aveyron)	X = 0658,181 Y = 1936,001 Z = 655 m	Marnes et calcaires du Carixrien	19 novembre 2002, 15h00 TU
N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
12/1	(Aveyron)					Scie de Courtinaux I Campagnac (Aveyron)	X = 0659,649 Y = 1936,385 Z = 629 m	Dolomie fine (Hettangien- Sinémurien)	20 novembre 2002, 5h00 TU 57 < Q < 282 l/s
12/2	(Aveyron)					Scie de Courtinaux I Campagnac (Aveyron)	X = 0659,649 Y = 1936,385 Z = 629 m	Dolomie fine (Hettangien- Sinémurien)	20 novembre 2002, 7h00 TU 54 < Q < 357 l/s

N° d'identification du traçage Département	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-l	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m²
12/1	1 735	15	0,86	≤ 0,86	1,67	1 045,2	130,0 ng/ml	3,67	472,8	186.10 ⁻⁶	5,44	426,3	318,8	≥ 64,38 g	1,0
12/2	1 735	15	0,86	≤ 0,86	1,17	1 483,8	84,0 nl/l 126,6 nl/l	4,17 29,2	416,1 59,4	18,7.10 ⁻⁶	24,74	123,8	70,1	≥ 60,2 g ≥ 602 g	1,8
N° d'identification du traçage Département	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-l	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m²
12/1	1 638	41	2,50	≤ 2,50	16,7	98,1	0,412 ng/ml	25,2	65,0	40,3.10 ⁻⁶	317,9	45,9	45,2	≥ 2,02 g ≥ 8,10 g	30,2
12/2	1 638	41	2,50	≤ 2,50	18,1	90,5	1,77 nl/l	43,2	37,9	10,0.10 ⁻⁶	52,4	32,5	31,3	≥ 1,38 g ≥ 69,0 g	18,0

Nom : Duc
N° Banque du Sous-Sol :
 A définir par le BRGM
Commune : Campagnac
Utilisation pour l'AEP : Non
 Usage personnel de quelques habitations



Bassin d'alimentation :



Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.037	0.071	0.053
Qjmin (m3/s)	0.003	0.005	0.003
Qjmax (m3/s)	0.422	0.460	0.460

Réserves estimées en Millions de m3 (volume dynamique) =environ 0.1 Mm3

Hydrochimie :

(12 valeurs)

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
De septembre 2002 à août 2003	T°C	pH	e25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.3	7.3	400	61	307.4	4.5	6.8	4.8	91.5	10.9	1.5	0.6
maximum	14.7	8.0	569	104	356.2	6.6	15.0	7.8	105.9	16.3	2.1	2.2
moyenne	10.9	7.7	511	85	327.2	5.0	8.9	5.8	98.2	14.2	1.7	1.1

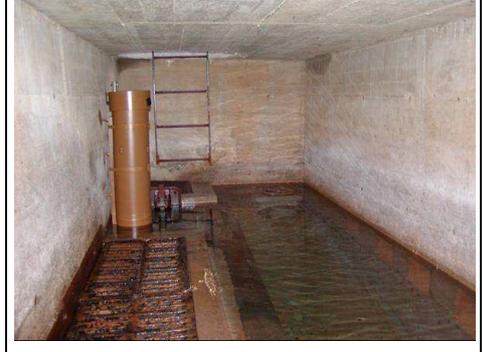
Tracages (restitution) : Non

Nom : Esparse

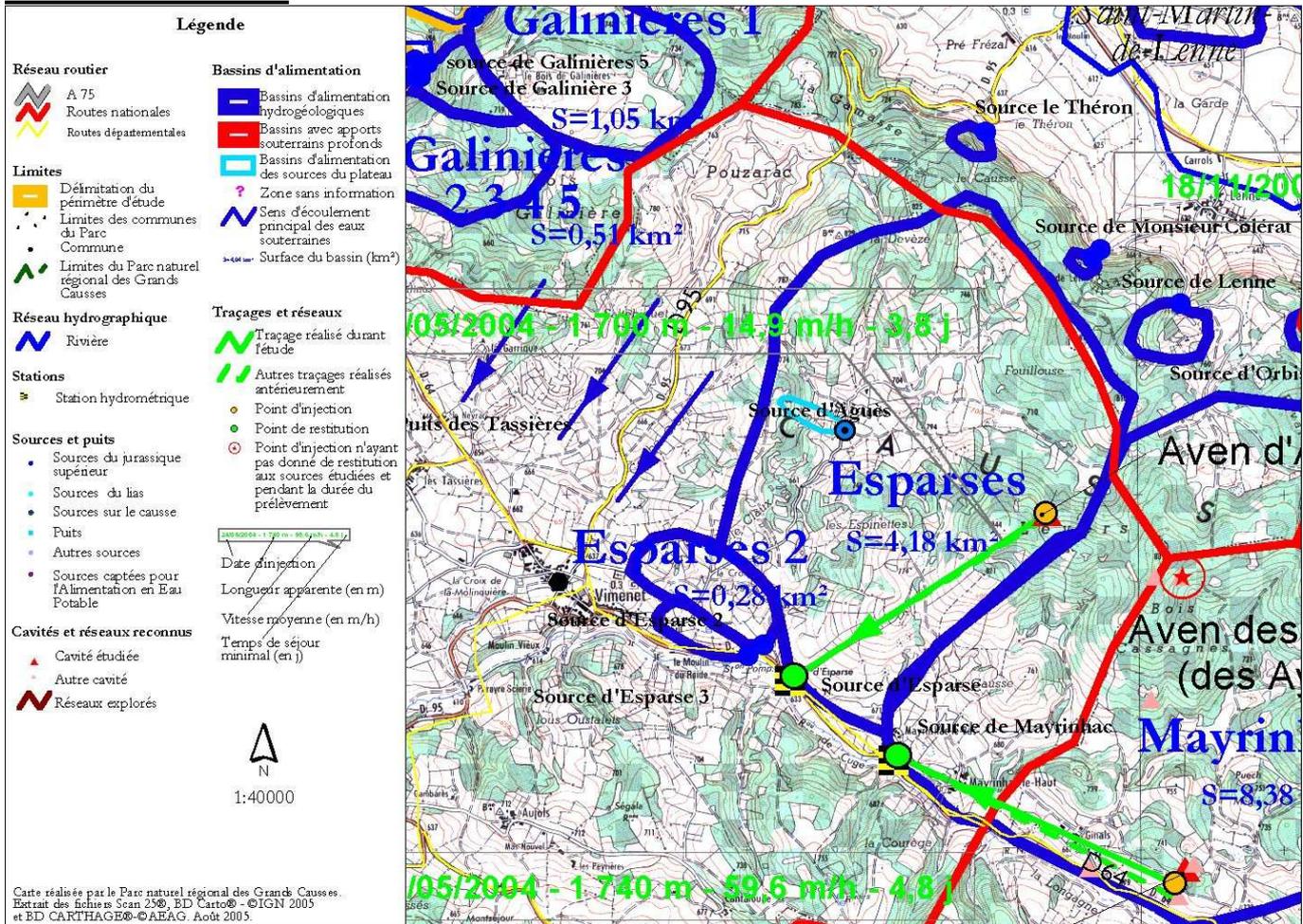
N° Banque du Sous-Sol :
0885-1X-0008/HY

Commune : Vimenet

Utilisation pour l'AEP : Oui
SIAEP de la haute vallée de l'Aveyron



Bassin d'alimentation :



Superficie = 4,18 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.044	0.088	0.064
Qjmin (m3/s)	0.008	0.008	0.008
Qjmax (m3/s)	0.354	0.338	0.354

Réserves estimées en Millions de m3 (volume dynamique) =environ 0.4 Mm3

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	10.5	7.1	387	74	296.5	2.9	3.8	3.0	91.7	3.6	1.3	0.2
maximum	13.0	7.5	582	99	385.0	5.1	9.5	4.7	116.3	10.2	1.5	0.9
moyenne	11.7	7.3	495	86	327.4	3.6	5.8	3.9	103.6	7.5	1.4	0.6

Tracages (restitution) : oui

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de lère restitution Débit en l/s
1/12 Aveyron	Aven d'Agues Vimenes (Aveyron)	X = 0649,710 Y = 1933,784 Z = 790 m	Dolomies Bathonien- Oxfordien	6 mai 2004, 10h50 TU au milieu du deuxiè-	Uranine 130 g Brève	Sec des Esparses Vimenes (Aveyron)	X = 0648,290 Y = 1932,850 Z = 630 m	Dolomies Bathonien- Oxfordien	10 mai 2004, 11h00 TU Q = 231 l/s

N° d'identification du traçage Département	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-1	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m²
1/12 Aveyron	1 700	160	9.41	<	90,2	19,5	0.129 ng/ml	102,2	17,2	11,5.10 ⁻⁶	120,6	14,9	14,6	1,97 2,56 g	58,2

Nom : Fontmaure

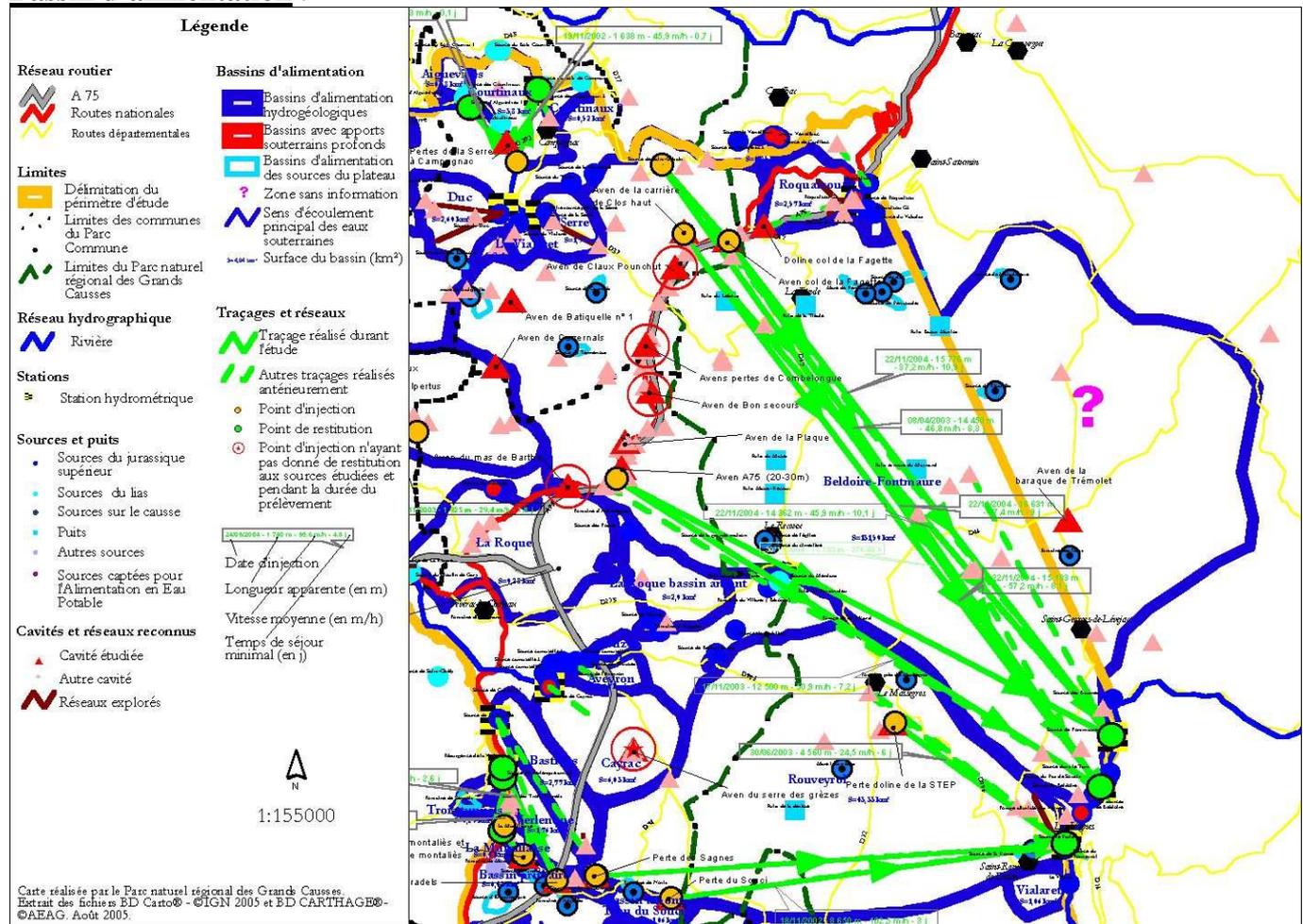
N° Banque du Sous-Sol :
A définir par le BRGM

Commune : Saint-Georges-de-Lévéjac

Utilisation pour l'AEP : Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 131,5 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.430	1.114	0.740
Qjmin (m3/s)	0.000	0.000	0.000
Qjmax (m3/s)	6.290	9.480	9.480

Hydrochimie :

(10 valeurs)

De septembre 2002 à juin 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	10.4	7.3	273	60	201.0	2.6	1.3	3.0	56.2	10.5	1.3	0.4
maximum	13.4	7.7	541	83	356.2	6.1	10.2	9.5	93.7	18.1	2.3	1.2
moyenne	11.4	7.5	428	73	279.3	3.9	6.0	5.6	75.7	13.9	1.9	0.7

Tracages (restitution) : oui

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendu	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
Voir Beldoire			inférieur	Injection de 7000 l d'eau entre 9h31 et 9h54 TU		Sce de Fontmaure St-Georges-de- Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	Ech. manuel po- sitif le 25 novem- bre 2003, 9h30
Voir Beldoire						Sce de Fontmaure St-Georges-de- Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	
Voir Beldoire	(Aveyron)			26 000 l d'eau (5 000 l avant l'injection du traceur, 21 000 après)		Sce de Fontmaure St-Georges-de- Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	2 décembre 2004, 17h00 TU 136 < Q < 432 l/s
Voir Beldoire	Campagnac (Aveyron)		sous couver- ture d'altérites			Sce de Fontmaure St-Georges-de- Lévéjac (Lozère)	X = 0672,094 Y = 1922,349 Z = 429 m	Calcaires en plaquettes (Bathonien)	3 décembre 2004, 11h00 TU 355 < Q < 1692 l/s

N° d'identification du traçage Département	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. max en s-l	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m²
Voir Beldoire	12 080	441	3,65	< 3,65	182 (par excès)	66,4 (par défaut)	0,187 ng/ml	267,7 (observée)	45,1	Non calculable	Non calculable	Non calculable	Non calculable	Non calculable	
Voir Beldoire	15 100	445	2,95	≤ 2,95											
Voir Beldoire	14 362	375	2,61	≤ 2,26	241,4	59,5	0,125 ng/ml	301,4	47,7	3,23.10 ⁻⁶	317,9	45,9	45,2	≥ 2,02 ≥ 8,10 g	30,2
Voir Beldoire	15 776	388	2,46	≤ 2,46	260,9	60,5	0,182 ng/ml	344,9	45,7	0,40.10 ⁻⁶	468,1	37,2	33,7	≥ 2,42 ≥ 24,2 g	33,4

Nom : Glassac

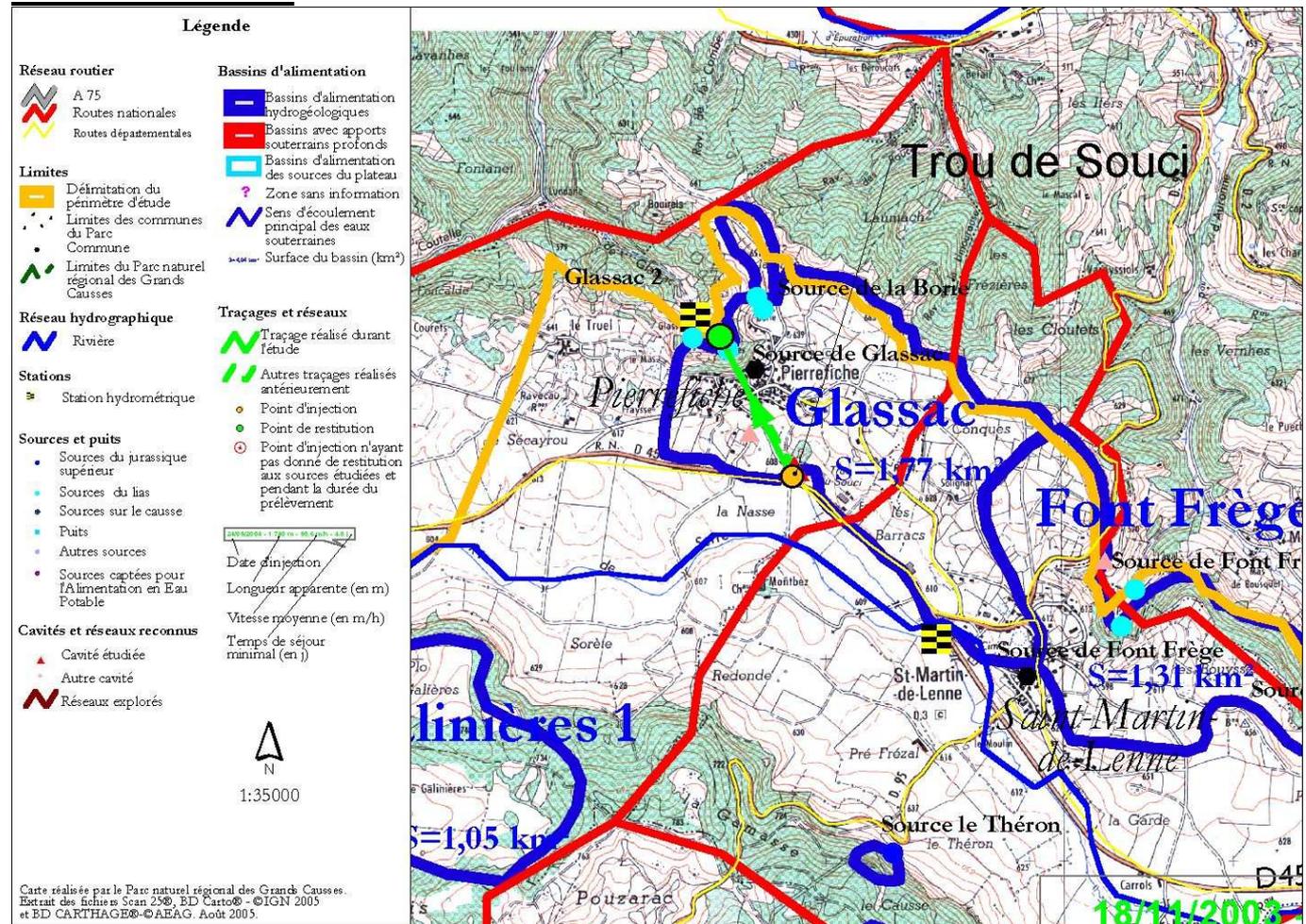
N° Banque du Sous-Sol :
0885-1X-0006/HY

Commune : Pierrefiche

Utilisation pour l'AEP :
Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 1,77 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.028	0.069	0.057
Qjmin (m3/s)	0.006	0.016	0.006
Qjmax (m3/s)	0.070	0.223	0.223

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) = environ 0.4 Mm³ (apport de la Serre essentiellement)

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	5.9	7.4	367	70	247.7	5.2	3.2	5.6	63.2	14.3	2.5	1.4
maximum	19.1	8.4	609	115	409.9	9.1	15.8	13.2	97.7	19.2	4.9	5.5
moyenne	12.7	8.0	485	89	312.1	6.5	8.4	8.8	83.9	16.3	3.3	2.8

Tracages (restitution) : oui

N° d'identification du traçage	Lieu d'injection	Coord. Lambert	Contexte géologique	Date et heure d'injection	Nature et masse de traceur	Restitution (pts surveillés)	Coord. Lambert	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution
Département	Commune	zone II étendue		Débit en l/s	Type d'injection	Commune	zone II étendue		Débit en l/s
1/12	Perte du Trou du Souci	X = 0648,888 Y = 1937,829 Z = 690 m	Calcarénites Lotharingien	18 juin 2003, 14h30 TU	AminoG acide 25 g Brève	Sce de Glassac Pierrefiche (Aveyron)	X = 0648,604 Y = 1938,444 Z = 588 m	Dolomies Hettangien-Sinémurien	18 juin 2003, 20h30 TU Q = 31 l/s

N° d'identification du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-1	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution	Section moyenne des drains en m ²
1/12	674	102	15,1	≤ 15,1	6,0	112,3	54,94 ng/ml	8,0	84,3	79,0.10 ⁻⁶	11,2	71,2	60,4	84,6	1,8
														21,1	

Nom : Lestang

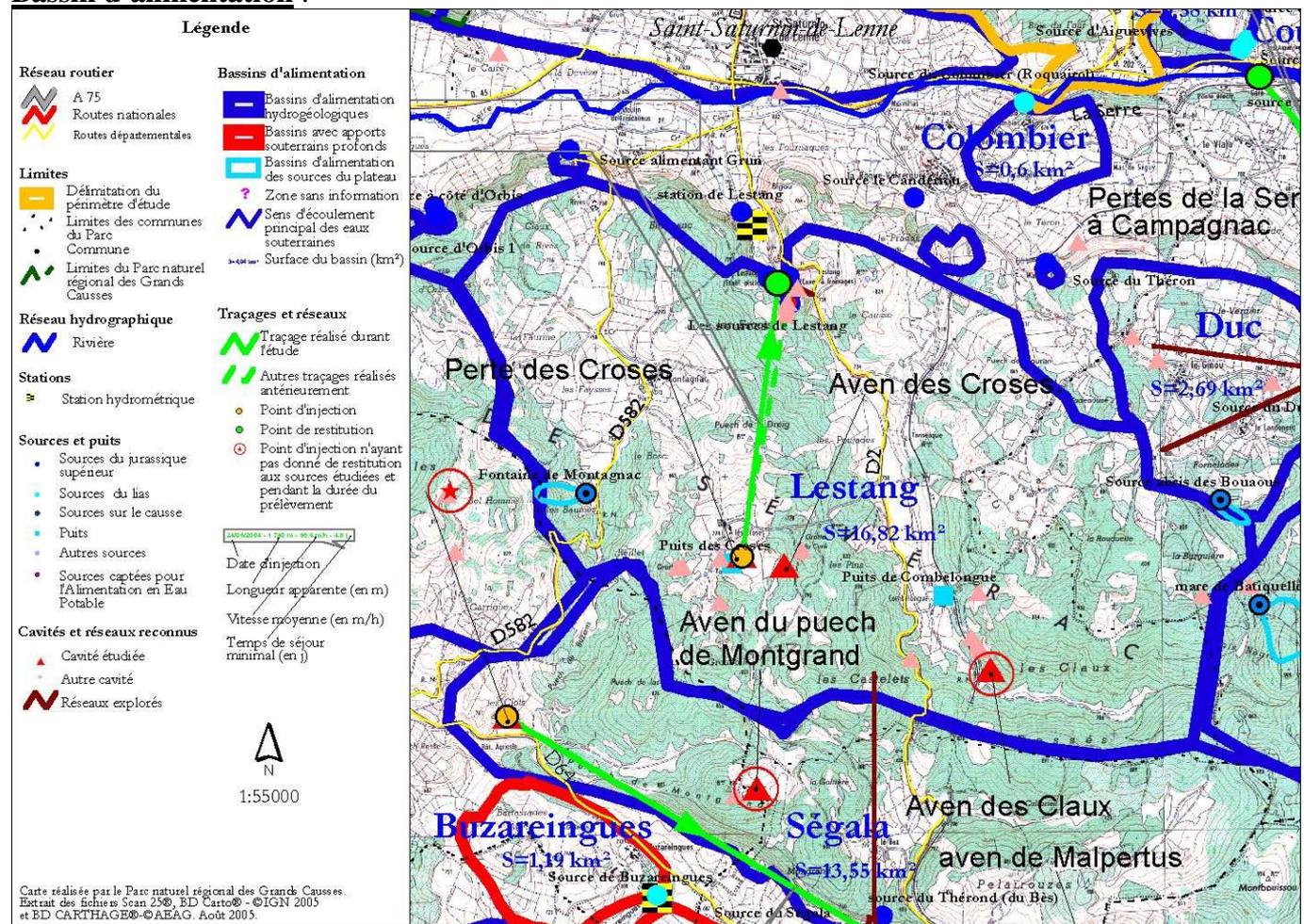
N° Banque du Sous-Sol :
0885-2X-0006/HY

Commune : Saint-Saturnin-de-Lenne

Utilisation pour l'AEP : Oui
SIAEP des vallées de Serre et d'Olt



Bassin d'alimentation :



Superficie = 16,82 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.163	0.364	0.241
Qjmin (m3/s)	0.018	0.061	0.018
Qjmax (m3/s)	2.790	3.410	3.410

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) = environ 0.8 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	8.8	6.8	368	67	296.5	3.0	4.1	3.3	83.7	10.1	1.3	0.3
maximum	13.2	7.8	538	123	383.6	5.0	15.5	4.3	100.9	18.1	1.6	1.0
moyenne	10.8	7.5	487	89	327.5	3.7	6.8	3.8	92.4	13.9	1.4	0.6

Tracages (restitution) : oui

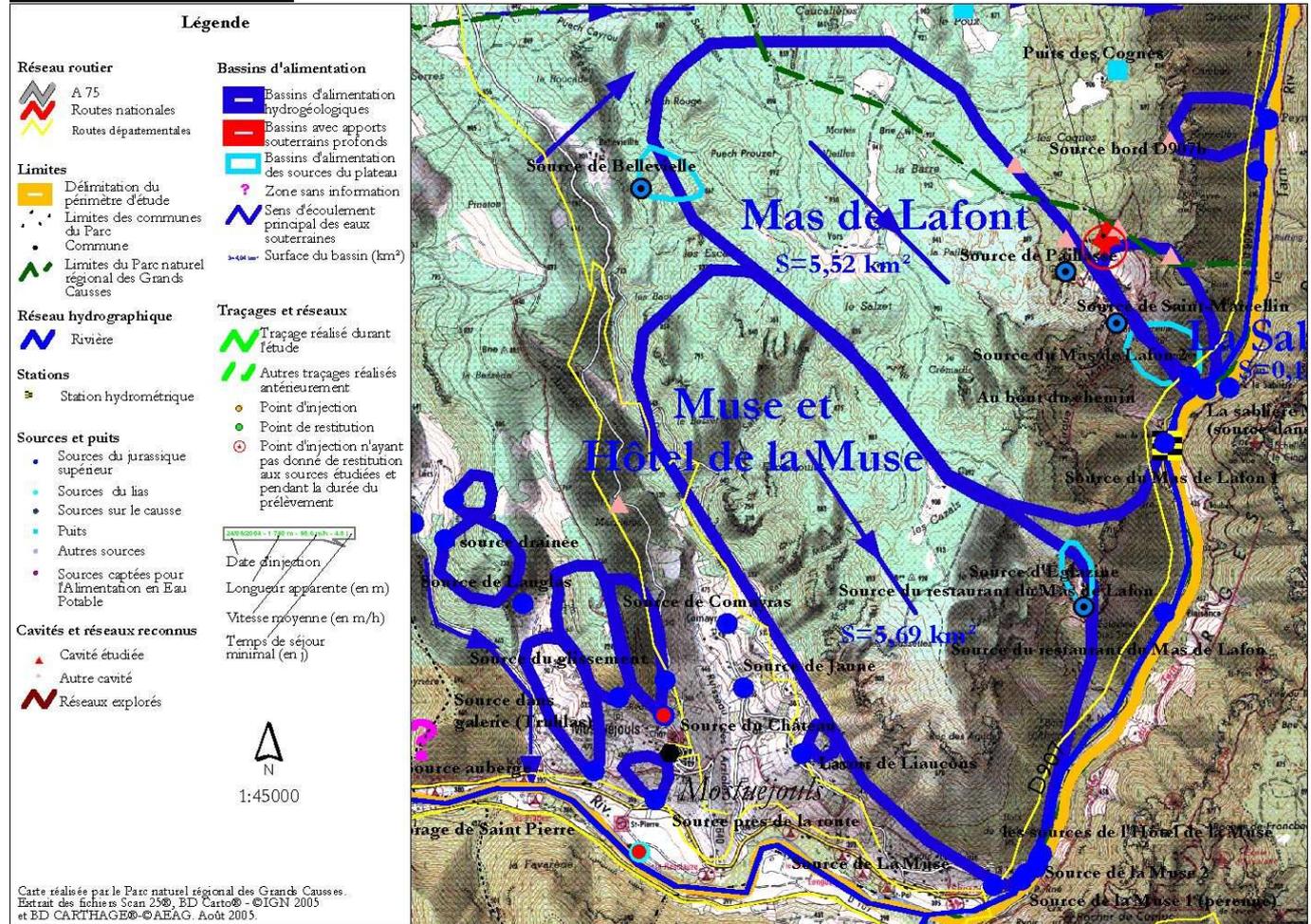
N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendu	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
1/12 Aveyron (début)	Perte des Croses St-Saturnin-de- Lenne (Aveyron)	X = 0654,172 Y = 1932,268 Z = 748 m	Altérites sur dolomies du Bathonien- Oxfordien	18 novembre 2003, 13h00 TU	Iodure de potas- sium : 6000 g I = 4587 g	Scie de Lestang Captage (buse) - St- Saturnin-de- Lenne	X = 0654,533 Y = 1934,308 Z = 650 m	Dolomies brunes (Bajocien)	22 novembre 2003, 1h00

N° d'identification du traçage Département	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-l	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m ²
1/12 Aveyron (début)	2 120									13,7.10 ⁶	113,1	19,2	18,7	285,7 13 186,3 g	43,7

Nom : Mas de Lafont
N° Banque du Sous-Sol :
 0909-4X-0014/HY
Commune : Mostuejous
Utilisation pour l'AEP : Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 5,52 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.044	0.059	0.051
Qjmin (m3/s)	0.033	0.033	0.033
Qjmax (m3/s)	0.090	0.300	0.300

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) = environ ? Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	e25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	10.4	7.5	352	71	280.6	2.0	1.9	4.2	61.0	25.4	1.1	0.2
maximum	12.8	7.8	462	97	342.6	2.7	3.8	8.0	67.7	27.9	1.2	0.3
moyenne	11.3	7.6	443	86	296.2	2.5	2.5	4.8	63.8	26.6	1.2	0.2

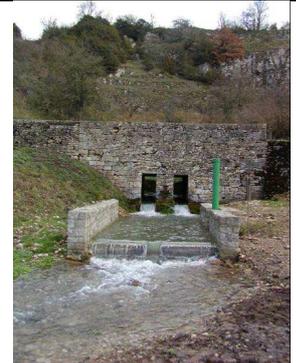
Tracages (restitution) : Pas de nouveaux tracages dans le cadre de cette étude.

Nom : Mayrinhac

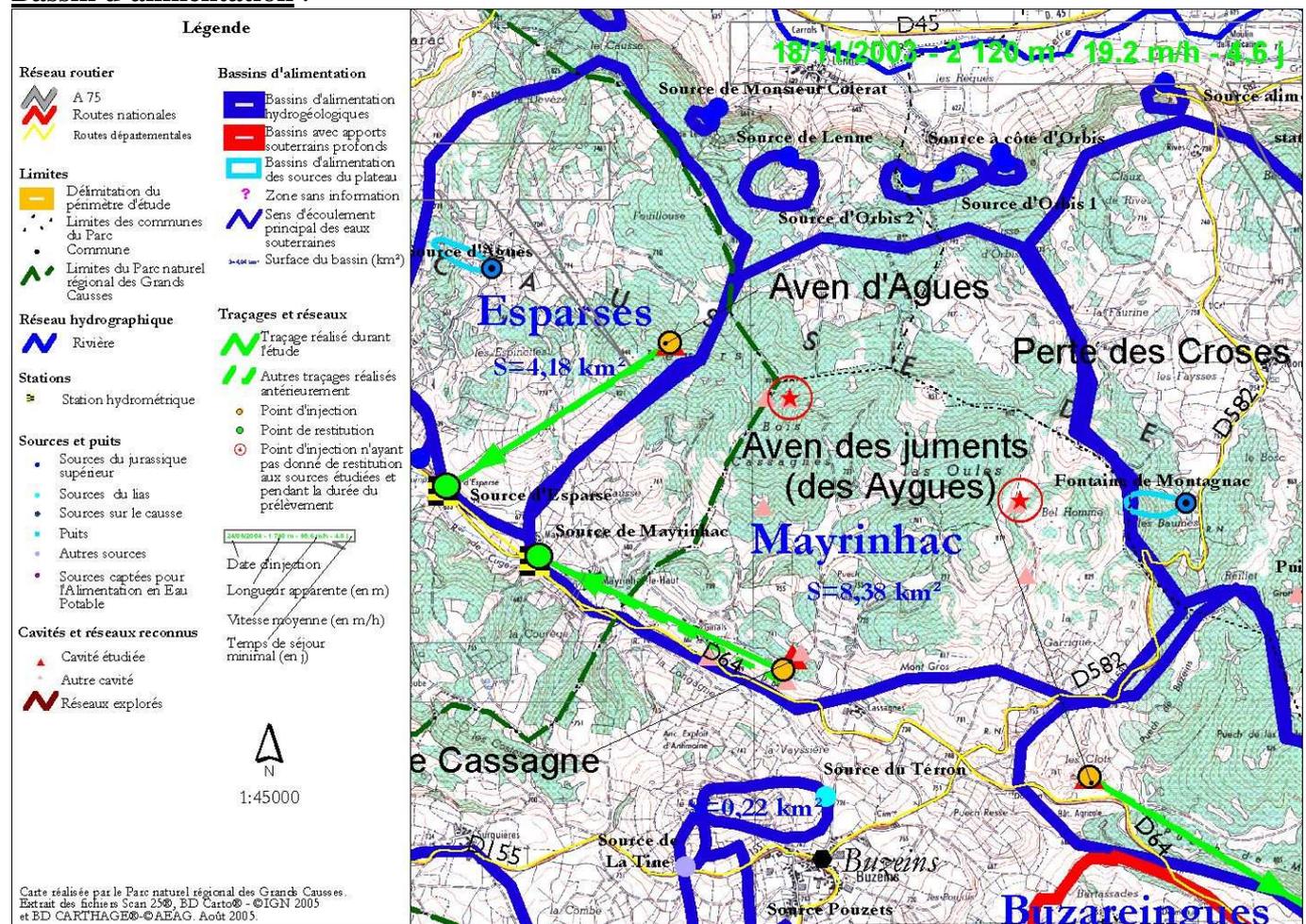
N° Banque du Sous-Sol :
0885-1X-0009/HY

Commune : Vimenet

Utilisation pour l'AEP : Oui
SIAEP de la haute vallée de l'Aveyron



Bassin d'alimentation :



Superficie = 8,38 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.106	0.208	0.152
Qjmin (m3/s)	0.021	0.030	0.021
Qjmax (m3/s)	0.700	1.010	1.010

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) =environ 1 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.9	7.2	387	65	289.1	2.9	4.2	3.5	81.3	15.2	1.2	0.2
maximum	12.7	7.7	548	95	371.9	5.2	12.2	5.1	100.2	17.2	1.7	1.3
moyenne	11.7	7.4	493	86	319.9	3.7	6.3	4.3	90.6	16.4	1.4	0.7

Tracages (restitution) : oui

N° d'identification du traçage	Lieu d'injection	Coord. Lambert	Contexte géologique	Date et heure d'injection	Nature et masse de traceur	Restitution (pts surveillés)	Coord. Lambert	Contexte géologique	Date et heure de restitution
Département	Commune	zone II étendue		Débit en l/s	Type d'injection	Commune	zone II étendue		Débit en l/s
1/12	Aven de Cassagnes Buzeins (Aveyron)	X = 0650,430 Y = 1931,700 Z = 720 m	Dolomies Bathonien-Oxfordien	24 mai 2004, 17h45 TU au fond de la salle Terminale, à m. Q ~ 0,2 l/s Injection de 3000 l	Eosine gamma 2500 g Brève	Sce de Mayrinhac Vimenes (Aveyron)	X = 0648,873 Y = 1932,390 Z = 645 m	Calcaire lithographique(Bathonien)	25 mai 2004, 15h00 TU Q = 250 l/s

N° d'identification du traçage	Longueur apparente	Dénivellation topographique	Pente moyenne	Pente hydraulique	Temps de séjour minimal	Vitesse maximale	Concentration maximale	Temps de séjour modal	Vitesse modale	D.T.S. maxi	Temps moyen de séjour	Vitesse moyenne	Vitesse apparente	% de restitution	Section moyenne des drains
Département	en m	en m	en %	en %	en h	en m/h	en ng/ml ou nl/l	en h	en m/h	en s-l	en h	en m/h	en m/h	en %	en m²
1/12	1 740	75	4,31	<	19,25	90,4	443,5 ng/ml	25,3	68,8	39,8.10 ⁻⁶	46,5	59,6	38,3	111,4 2785,4	23,2

Nom : Roquaizou

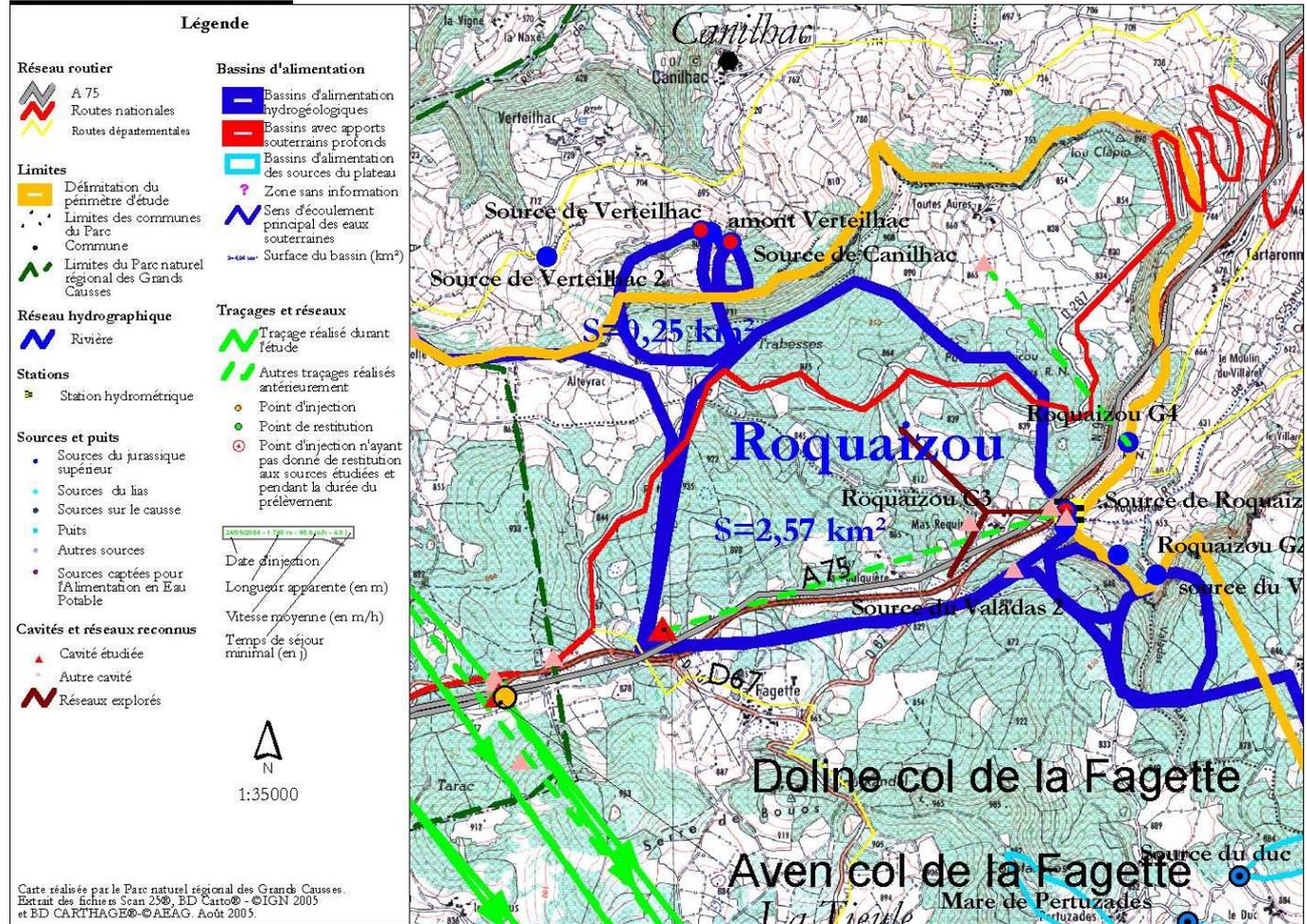
N° Banque du Sous-Sol :
0885-4X-0004/ROCAYS

Commune : Banassac

Utilisation pour l'AEP : Oui
Commune de Banassac



Bassin d'alimentation :



Superficie = 2,57 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.012	0.032	0.021
Qjmin (m3/s)	0.000	0.001	0.000
Qjmax (m3/s)	0.345	0.559	0.559

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) = environ 0.05 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.1	7.0	374	70	273.3	5.0	4.7	5.7	72.2	14.2	2.3	0.4
maximum	11.3	7.8	526	95	377.7	9.5	7.0	8.5	98.6	16.2	4.1	0.9
moyenne	10.1	7.5	495	86	314.3	6.6	5.7	6.8	87.3	15.5	2.9	0.5

Tracages (restitution) : Pas de nouveaux tracages dans le cadre de cette étude. Anciens tracages existants.

Nom : Rouveyrol

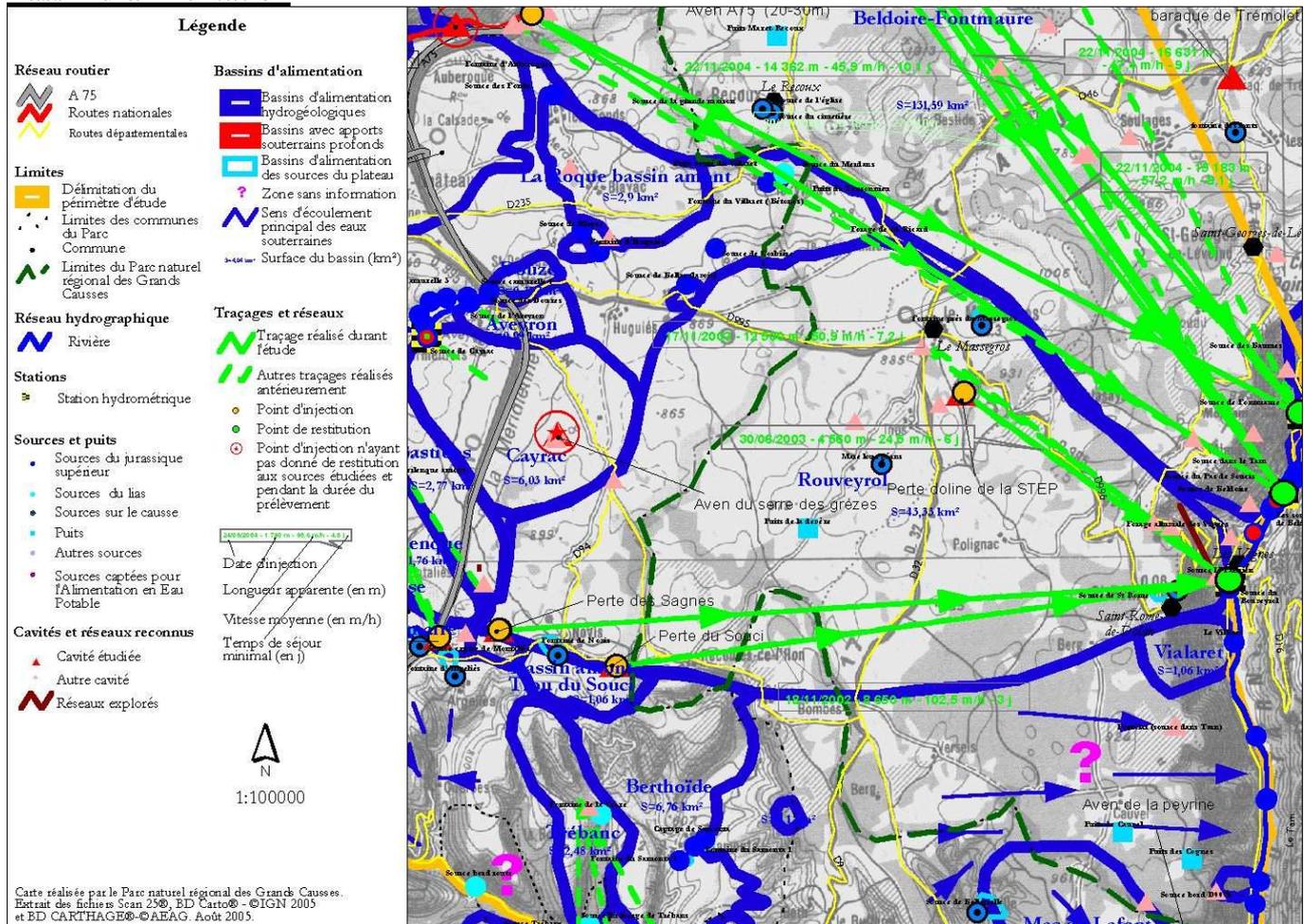
N° Banque du Sous-Sol :
A définir par le BRGM

Commune : Les Vignes

Utilisation pour l'AEP :
Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 43,33 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.495	0.544	0.517
Qjmin (m3/s)	0.480	0.480	0.450
Qjmax (m3/s)	0.839	1.010	1.010

Réserves estimées en Millions de m3 (volume dynamique) =environ >10 Mm3

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	10.6	7.3	464	74	267.0	6.6	11.2	4.6	79.5	8.4	2.9	0.8
maximum	12.7	7.6	599	95	346.5	52.0	20.8	5.8	96.1	16.3	28.3	2.0
moyenne	11.3	7.5	529	85	294.9	21.9	16.2	5.2	86.9	13.7	13.3	1.4

Tracages (restitution) : oui

N° d'identification du traçage	Lieu d'injection	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection	Nature et masse de traceur	Restitution (pts surveillés)	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution
Département	Commune			Débit en l/s	Type d'injection	Commune			Débit en l/s
12/4	Perte des Sagnes	X = 0660,893 Y = 1919,215 Z = 870 m	Calcaire litho-graphique (Bathonien)	18 novembre 2002, 13h25 TU Q = 1,3 l/s	Sulforhodamine G 50 g	Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	22 novembre 2002, 13h45 526 < Q < 734 l/s
12/5	Perte du Soucis	X = 0662,520 Y = 1918,716 Z = 860 m	Calcaire litho-graphique (Bathonien)	18 novembre 2002, 14h52 TU Q = 10 l/s	Uranine 500 g	Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	21 novembre 2002, 15h00 TU 526 < Q < 734 l/s
12/7	Perte des Sagnes	X = 0660,893 Y = 1919,215 Z = 870 m	Calcaire litho-graphique (Bathonien)	5 mars 2003, 12h50 TU	Uranine 500 g	Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	10 mars 2003, 2h TU 486 < Q < 511 l/s
48 1	Effluent de la station d'épuration du	X = 0667,399 Y = 1922,543 Z = 861 m	Calcaire litho-graphique (Bathonien)	30 juin 2003, 12h15 TU Qques l/s	Uranine 250 g	Sce de Rouveyrol Les Vignes (Lozère)	X = 0671,098 Y = 1919,893 Z = 415 m	Calcaire à chailles (Bajocien)	6 juillet 2003, 13h00 TU 464 < Q < 465 l/s

N° d'identification du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou n/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-l	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution	Section moyenne des drains en m²
12/4	10 211	455	4,46	≤ 4,46	95,5	106,9	0,313 ng/ml	105,8	96,6	18,8.10 ⁻⁶	110,0	93,5	92,8	19,0 9,50 g	20,5
12/5	8 650	445	5,14	≤ 5,14	72,1	119,9	6,709 ng/ml	78,1	110,7	36,9.10 ⁻⁶	88,1	102,5	98,2	22,1 110,5 g	18,9
12/7	10 211	455	4,46	< 4,46	109,2	93,5	2,728 ng/ml	129,2	79,0	4,76.10 ⁻⁶	186,1	60,4	54,9	58,1 290,3 g	33,6
48 1	4 560	446	9,78	≤ 9,78	144,6	31,5	6,064 ng/ml	170,1	26,8	8,20.10 ⁻⁶	189,6	24,5	24,0	137,3 343,2 g	69,5

Nom : SEGALA

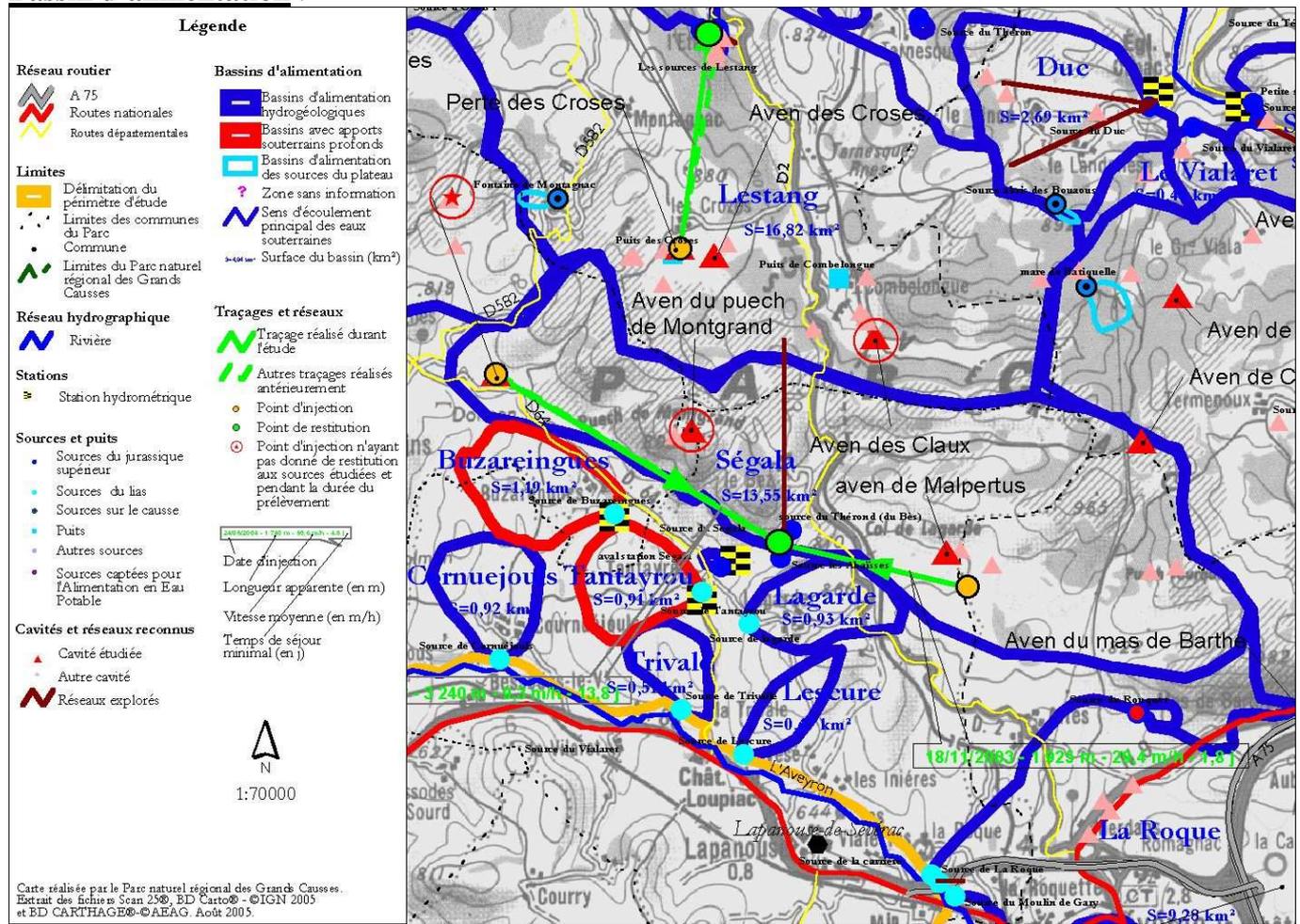
N° Banque du Sous-Sol :
A définir par le BRGM

Commune : Lapanouse-de-Sévérac

Utilisation pour l'AEP : Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 13,55 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.146	0.297	0.214
Qjmin (m3/s)	0.018	0.040	0.018
Qjmax (m3/s)	2.200	2.400	2.400

Réserves estimées en Millions de m3 (volume dynamique) = environ 0.7 Mm3

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)								
	T°C	pH	$\gamma_{25}^{\circ}\text{C}$	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂
minimum	8.9	7.4	359	70	271.0	2.3	2.0	3.0	66.3	9.2	1.2	0.2	4.6
maximum	12.4	8.1	523	100	341.0	7.6	25.8	6.1	100.2	15.5	1.7	1.0	6.3
moyenne	10.5	7.7	460	90	304.7	3.6	7.0	3.8	87.1	11.7	1.4	0.5	5.3

Tracages (restitution) : oui

N° d'identification du traçage Département	Lieu d'injection Commune	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection Débit en l/s	Nature et masse de traceur Type d'injection	Restitution (pts surveillés) Commune	Coord. Lambert zone II étendu	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution Débit en l/s
1/12 Aveyron	Aven des Juments (ou des Aygues) Buzeins (Aveyron)	X = 0652,360 Y = 1931,022 Z = 727m	Dolomies du Bathonien- Oxfordien	17 novembre 2003, 13h45 TU à - 45 m Injection de 5 000 à 7 000 l d'eau	Eosine gamma 250 g + 250 g 40 mn après	Sce du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire li- thographique(Bat- honien)	1 ^{er} décembre 2003, 8h00
1/12 Aveyron	Aven de Malpertus Lapanouse (Aveyron)	X = 0657,039 Y = 1928,999 Z = 805m	Calcaire li- thographique(Bat- honien)	18 novembre 2003, 10h37 TU à - 10 m Injection de 6000 L d'eau entre 10h37 et 11h00	AminoG acide 3 500 g Brève	Sce du Ségala Lapanouse (Aveyron)	X = 0655,143 Y = 1929,345 Z = 695 m	Calcaire li- thographique(Bat- honien)	20 novembre 2003, 7h00 213 l/s

N° d'identification du traçage Département	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-1	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution masse	Section moyenne des drains en m²
1/12 Aveyron	3 240	68	2,10	< 0,71	330,3	9,81	0,152 ng/ml	339,3	9,55	17,6.10 ⁻⁶	349,6	9,3	9,3	14,52 g	154,8
1/12 Aveyron	1 925	110	5,72	< 5,19	44,4	43,4	3,128 ng/ml	60,4	31,9	11,9.10 ⁻⁶	68,6	29,4	28,0	1,42 49,7 g	32,3

Nom : Serre

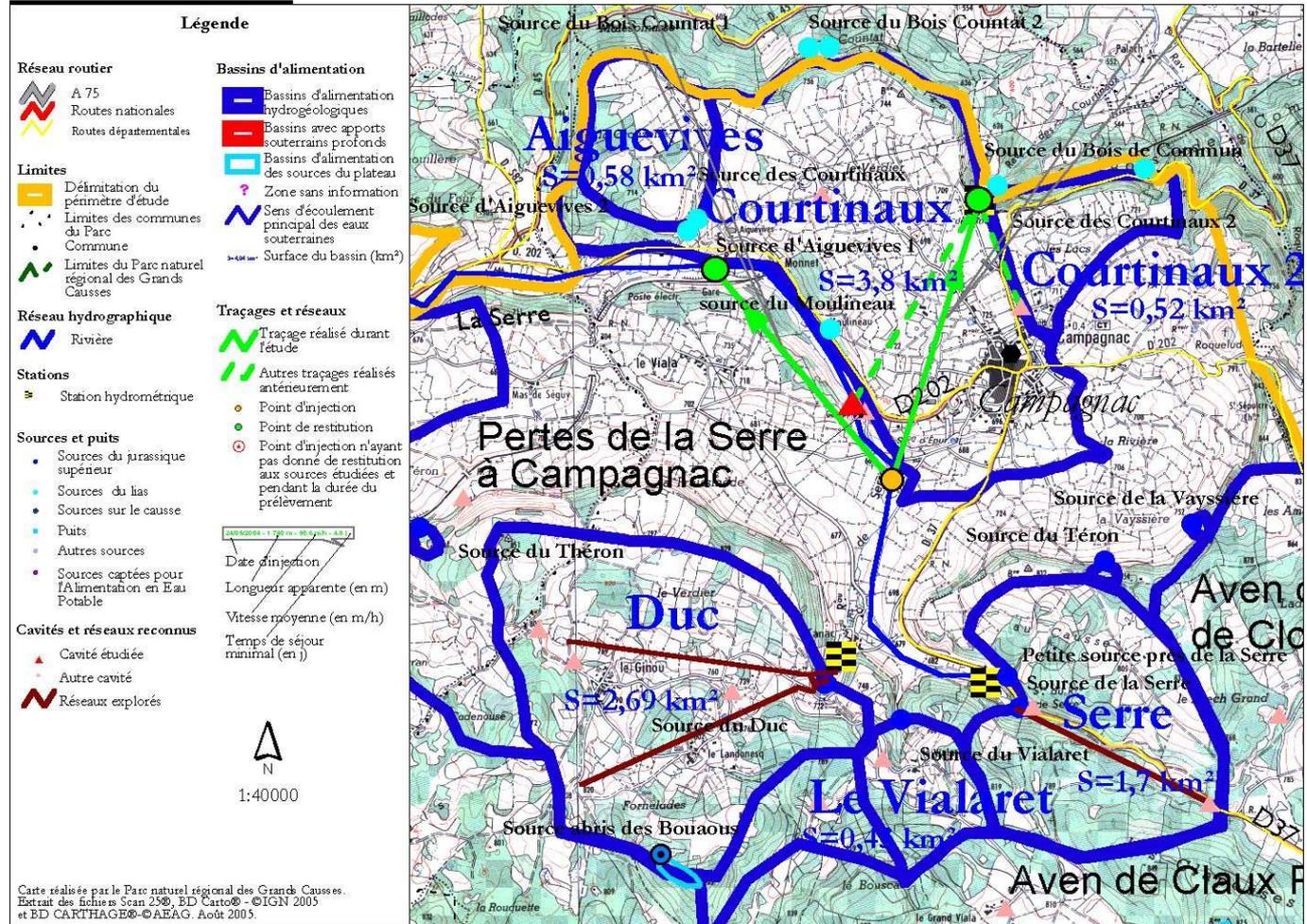
N° Banque du Sous-Sol :
0885-3X-0007/HY

Commune : Campagnac

Utilisation pour l'AEP : non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 1,7 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.023	0.043	0.032
Qjmin (m3/s)	0.001	0.004	0.001
Qjmax (m3/s)	0.530	0.500	0.530

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) =environ 0.1 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.2	7.4	419	58	324.0	4.9	5.1	4.5	62.8	24.6	1.9	0.3
maximum	12.2	8.2	603	94	380.6	11.2	7.7	8.3	96.6	27.9	4.2	1.5
moyenne	10.5	7.8	546	82	355.5	6.6	6.2	5.8	81.4	26.3	2.5	0.6

Tracages (restitution) : Non

Nom : Serre

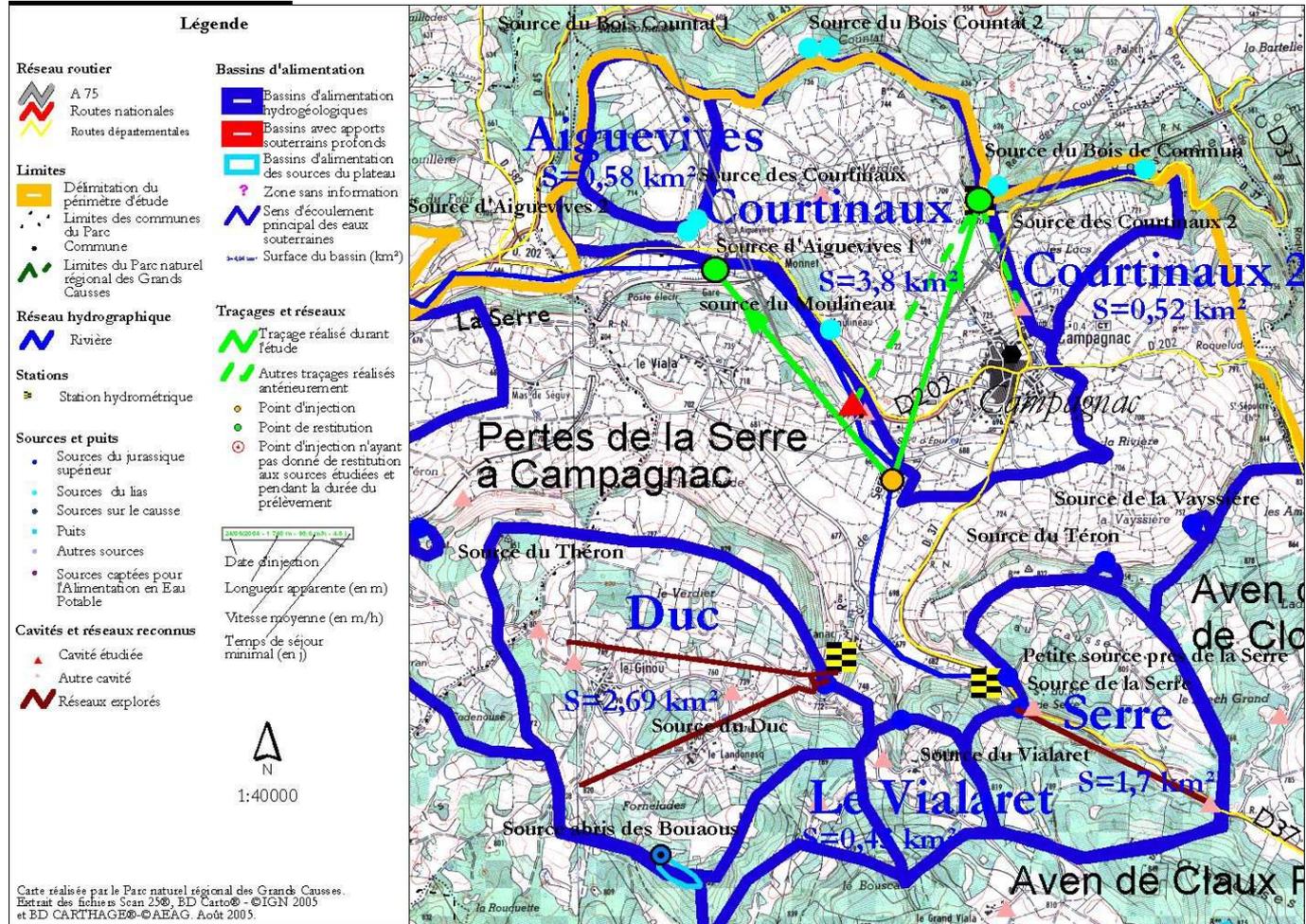
N° Banque du Sous-Sol :
0885-3X-0007/HY

Commune : Campagnac

Utilisation pour l'AEP : non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 1,7 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.023	0.043	0.032
Qjmin (m3/s)	0.001	0.004	0.001
Qjmax (m3/s)	0.530	0.500	0.530

Réserves estimées en Millions de m3 (volume dynamique) =environ 0.1 Mm3

Hydrochimie :

(12 valeurs)
De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.2	7.4	419	58	324.0	4.9	5.1	4.5	62.8	24.6	1.9	0.3
maximum	12.2	8.2	603	94	380.6	11.2	7.7	8.3	96.6	27.9	4.2	1.5
moyenne	10.5	7.8	546	82	355.5	6.6	6.2	5.8	81.4	26.3	2.5	0.6

Tracages (restitution) : Non

Nom : Tantayrou

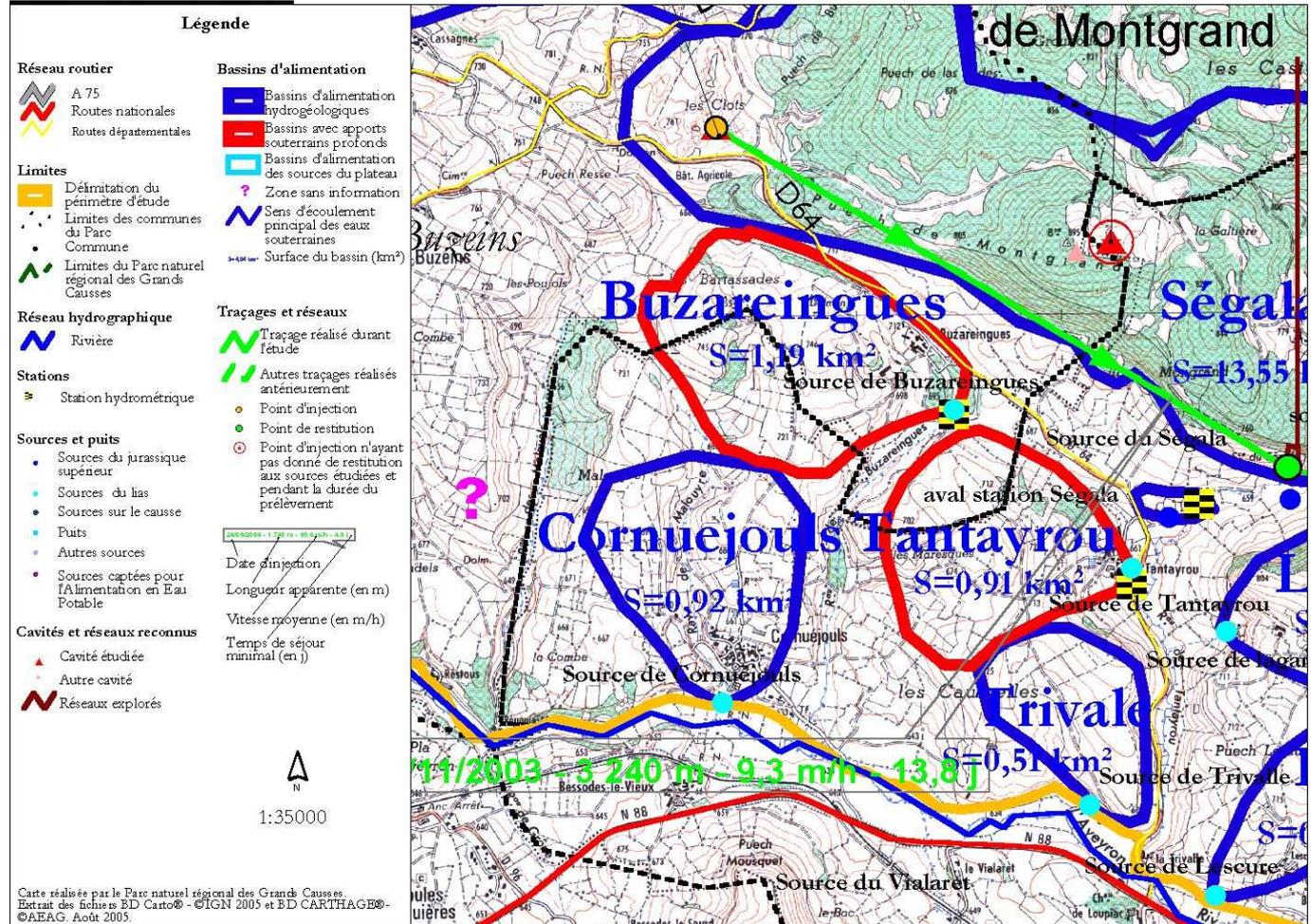
N° Banque du Sous-Sol :
0885-6X-0007/HY

Commune : Lapanouse-de-Sévérac

Utilisation pour l'AEP : Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 0,91 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.044	0.056	0.050
Qjmin (m3/s)	0.030	0.036	0.030
Qjmax (m3/s)	0.287	0.392	0.392

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) = non déterminés

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	11.5	7.2	348	63	257.6	2.3	3.0	3.1	70.8	16.6	1.2	0.2
maximum	13.5	7.6	499	97	319.2	4.3	9.9	9.2	78.4	18.8	1.9	3.2
moyenne	12.7	7.4	427	85	281.5	2.9	4.8	4.7	75.1	17.7	1.5	1.3

Tracages (restitution) : Non

Nom : Verlenque

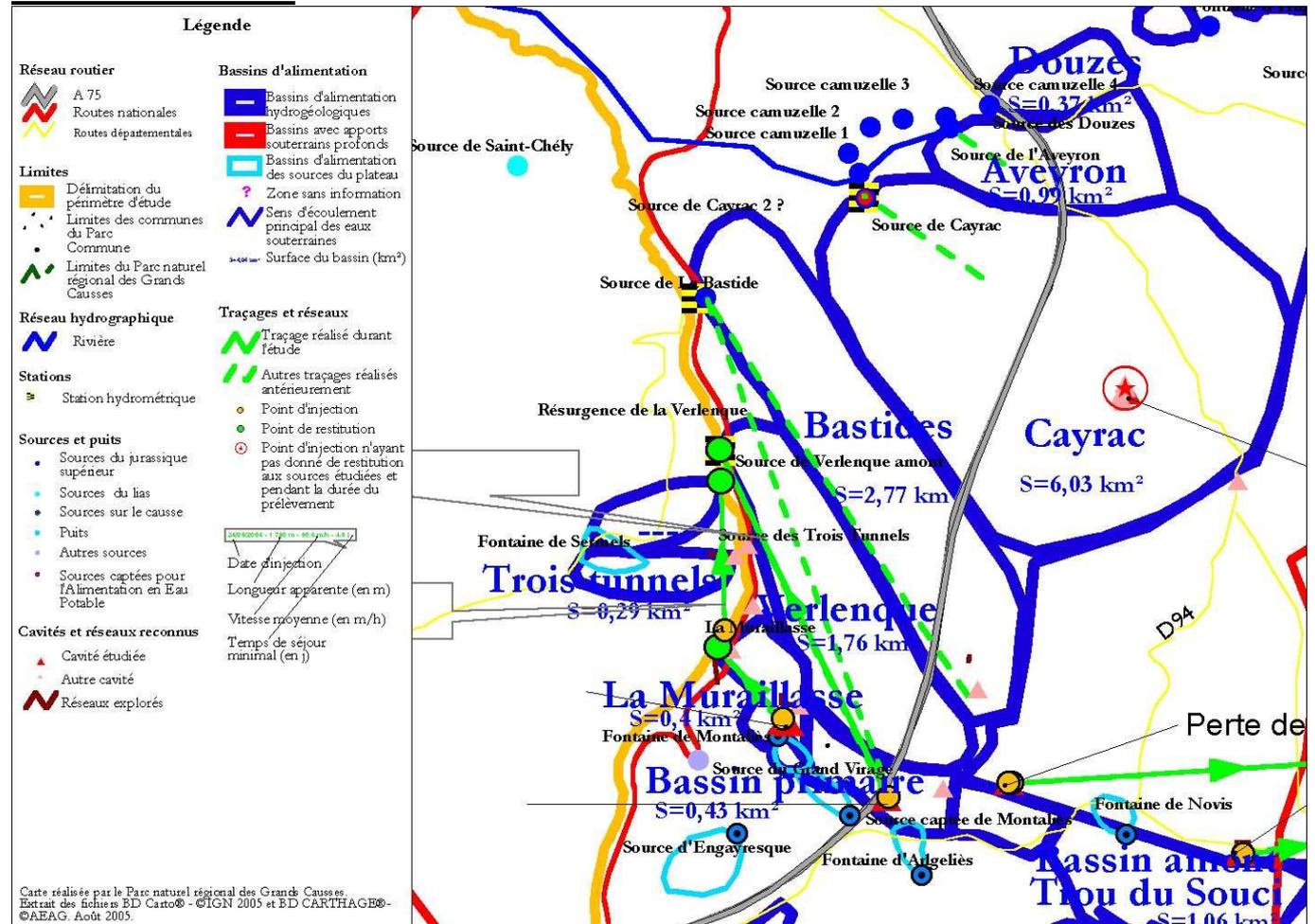
N° Banque du Sous-Sol :
0885-7X-0030/HY

Commune : Sévérac-le-Château

Utilisation pour l'AEP : Non



Bassin d'alimentation :



Superficie = 1,76 km²

Hydrodynamique :

Débits :

	Cycle Hydrologique 2002-2003	Cycle Hydrologique 2003-2004	Cycles Hydrologiques 2002-2004
Qmoy (m3/s)	0.017	0.033	0.025
Qjmin (m3/s)	0.009	0.013	0.009
Qjmax (m3/s)	0.370	0.900	0.900

Réserves estimées en Millions de m³ (volume dynamique) = environ 0.6 Mm³

Hydrochimie :

(12 valeurs)

De septembre 2002 à août 2003

	Mesures terrain				Mesures laboratoire (en mg/l)							
	T°C	pH	c25°C	% O2	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
minimum	9.9	6.7	417	73	287.9	4.5	9.7	5.1	80.6	8.1	1.7	0.6
maximum	13.6	7.5	534	105	349.9	12.1	16.8	8.2	100.9	15.0	5.7	1.3
moyenne	11.3	7.1	492	90	303.2	6.3	12.4	6.3	91.1	13.1	2.7	0.9

Tracages (restitution) : oui

N° d'identification du traçage	Lieu d'injection	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure d'injection	Nature et masse de traceur	Restitution (pts surveillés)	Coord. Lambert zone II étendue	Contexte géologique	Date et heure de 1ère restitution
12/3 Aveyron (début)	Perte des Pradels Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0660,035 Y = 1919,108 Z = 883 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	18 novembre 2002, 13h25 TU Injection de 16 000 l d'eau après l'injection du traceur	Eosine gamma 50 g Brève	Sce de Verlenque Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,888 Y = 1921,455 Z = 716 m	Dolomies brunes (Bajocien)	21 novembre 2002, 4h00 TU 19 < Q < 241 l/s
1/12 Aveyron	Perte du Verlenque en aval de la source de la Muraillesse Sévérac-le-Château (Aveyron)	X = 0658,908 Y = 1920,280 Z = 755 m	Calcaire lithographique (Bathonien)	Du 5 août 2003, 13h45 au 7 août 2003, ~ 12h	Eosine gamma 500 g Continue	Sce amont de Verlenque - Sévérac-le-Château (Aveyr.)	X = 0658,883 Y = 1921,335 Z = 720 m	Dolomies brunes (Bajocien)	8 août 2003, 21h TU Q < 5 l/s

N° d'identification du traçage	Longueur apparente en m	Dénivellation topographique en m	Pente moyenne en %	Pente hydraulique en %	Temps de séjour minimal en h	Vitesse maximale en m/h	Concentration maximale en ng/ml ou nl/l	Temps de séjour modal en h	Vitesse modale en m/h	D.T.S. maxi en s-l	Temps moyen de séjour en h	Vitesse moyenne en m/h	Vitesse apparente en m/h	% de restitution	Section moyenne des drains en m²
12/3 Aveyron (début)	2 650	167	6,30	≤ 6,30	62,6	42,3	2,247 ng/ml	69,6	38,1	5,12.10 ⁶	177,2	20,4	15,0	42,12 21,06 g	9,5
1/12 Aveyron	980	35	3,57	≤ 3,57	79,3	12,4	1,187 ng/ml	499,3	1,96						



Parc naturel régional
des Grands Causses

Etude hydrogéologique
de la partie ouest du Causse de Sauveterre
et de ses avants Causses

Planche 1
Version 1

Sources étudiées et stations de mesures

Echelle : 1/ 52 000

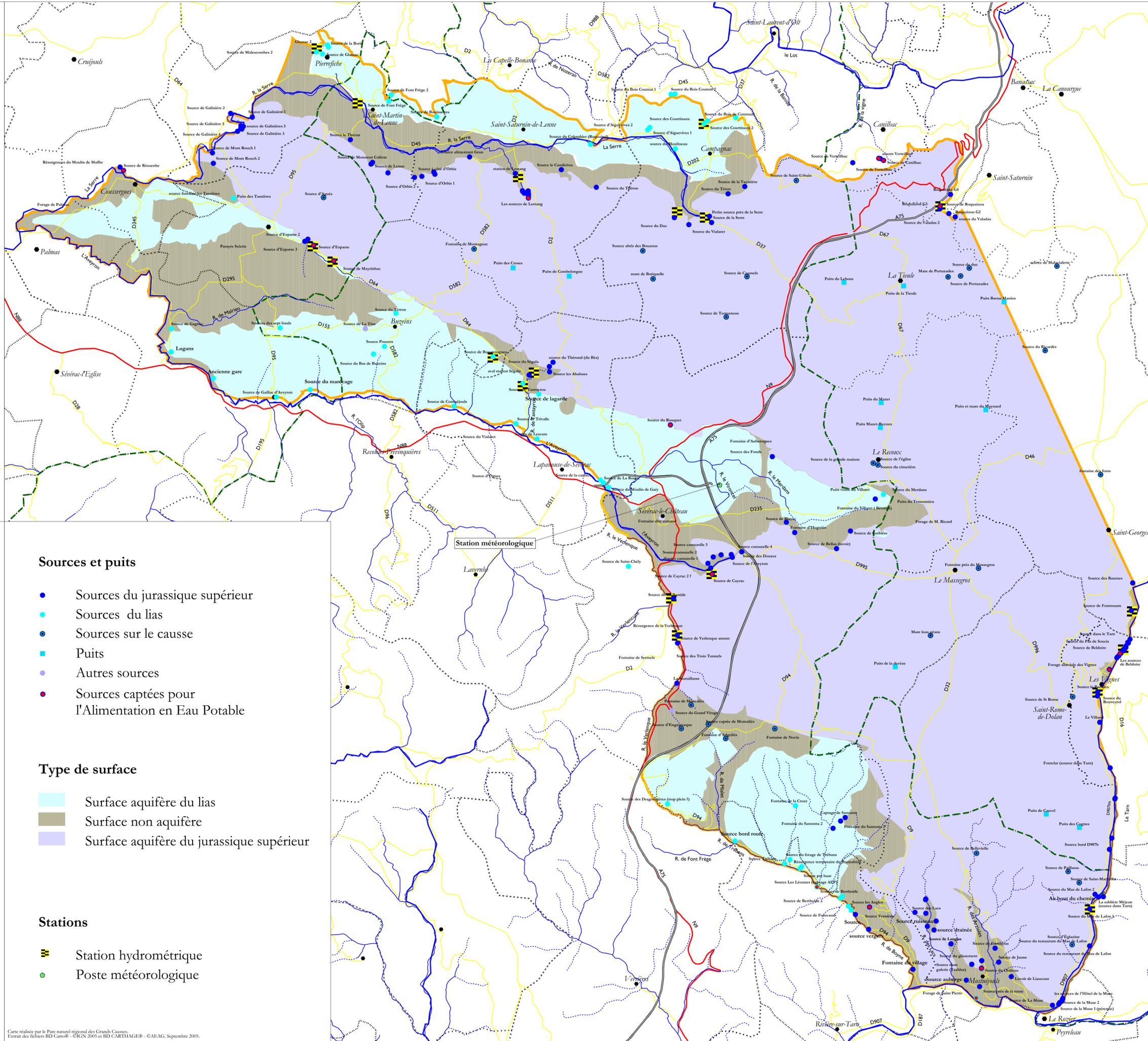


Agence de l'Eau
Adour Garonne



Septembre 2005

Réalisée par L. DANNEVILLE, J-F RAYMOND, D. ARRIBAT



Légende

Réseau routier

- A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Limites

- Délimitation du périmètre d'étude
- Limites de commune
- Commune
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses

Réseau hydrographique

- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent

Sources et puits

- Sources du jurassique supérieur
- Sources du lias
- Sources sur le causse
- Puits
- Autres sources
- Sources captées pour l'Alimentation en Eau Potable

Type de surface

- Surface aquifère du lias
- Surface non aquifère
- Surface aquifère du jurassique supérieur

Stations

- Station hydrométrique
- Poste météorologique



Parc naturel régional
des Grands Causses

Etude hydrogéologique
de la partie ouest du Causse de Sauveterre
et de ses avants Causses

Planche 2
Version 1

Morphologies Karstiques et formations superficielles

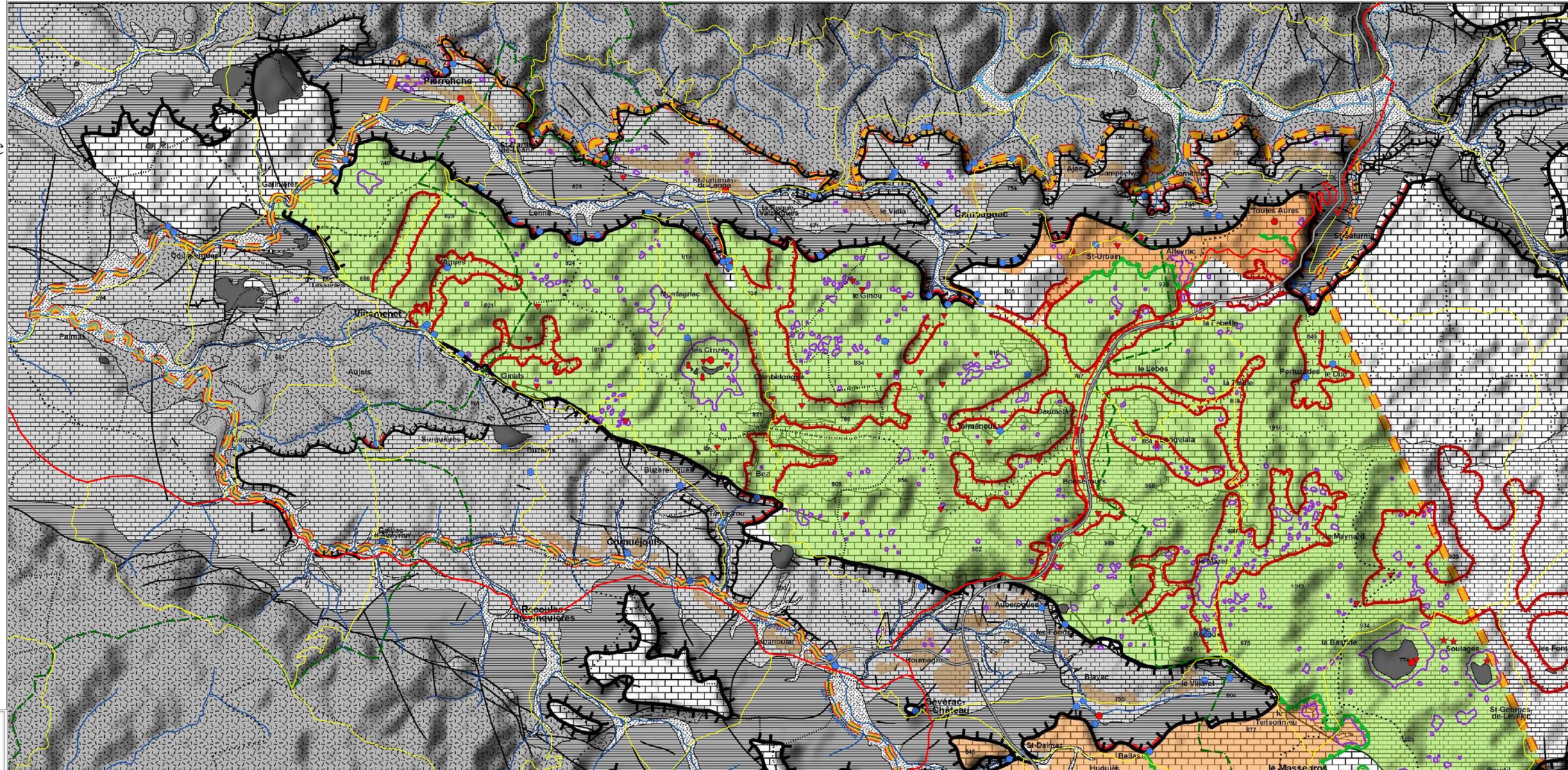
par Laurent BRUXELLES

Echelle : 1/ 52 000



Septembre 2005

Réalisée par L. DANNEVILLE, J-F RAYMOND, D. ARRIBAT



Légende

Réseau routier

- A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Limites

- Limites de commune
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses



Photo 1 : Elément de méga-lapiès dolomitique sur le Causse de Massegros, à l'ouest de la dépression de Cauvel.



Photo 2 : La perte des Sagnes absorbe les écoulements issus des versants perméables. Les eaux enfouies dès leur arrivée sur les calcaires, resurgissent à la source de Rouveyrol (Les Vignes).

- | | | | |
|--|--|---|--|
| <p>I - LIMITE</p> <ul style="list-style-type: none"> Limite d'étude | <p>II - LITHOLOGIE ET FRACTURATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Faille Alluvions fluviales Basaltes, formations basaltiques, pépérites Malm : calcaires et dolomies Dogger : calcaires et dolomies Lias marnéux Lias calcaire et dolomitique Trias : grès et argilites Anté-Trias | <p>III - HYDROLOGIE</p> <ul style="list-style-type: none"> Ruisseau pérenne ou temporaire Rivière, cours d'eau principal Source pérenne ou temporaire <p>IV - FORMATIONS SUPERFICIELLES</p> <ul style="list-style-type: none"> Grésou dolomitique Argiles à chailles Crétacé, Crétacé remanié Apports alloctones Résidus d'altération des calcaires liasiques | <p>V - FORMES TOPOGRAPHIQUES SIMPLES</p> <ul style="list-style-type: none"> Rebord de causse Rebord de l'avant-causse <p>VI - FORMES KARSTIQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> Dépression fermée, doline Vallon fluvio-karstique Bordure de corrosion Reculée karstique (causse) Reculée karstique (avant-causse) Grotte Aven Perte Paléokarst (calcite) |
|--|--|---|--|



Parc naturel régional
des Grands Causses

Etude hydrogéologique
de la partie ouest du Causse de Sauveterre
et de ses avants Causses

Planche 2
Version 1

Morphologies Karstiques et formations superficielles

par Laurent BRUXELLES

Echelle : 1/ 52 000

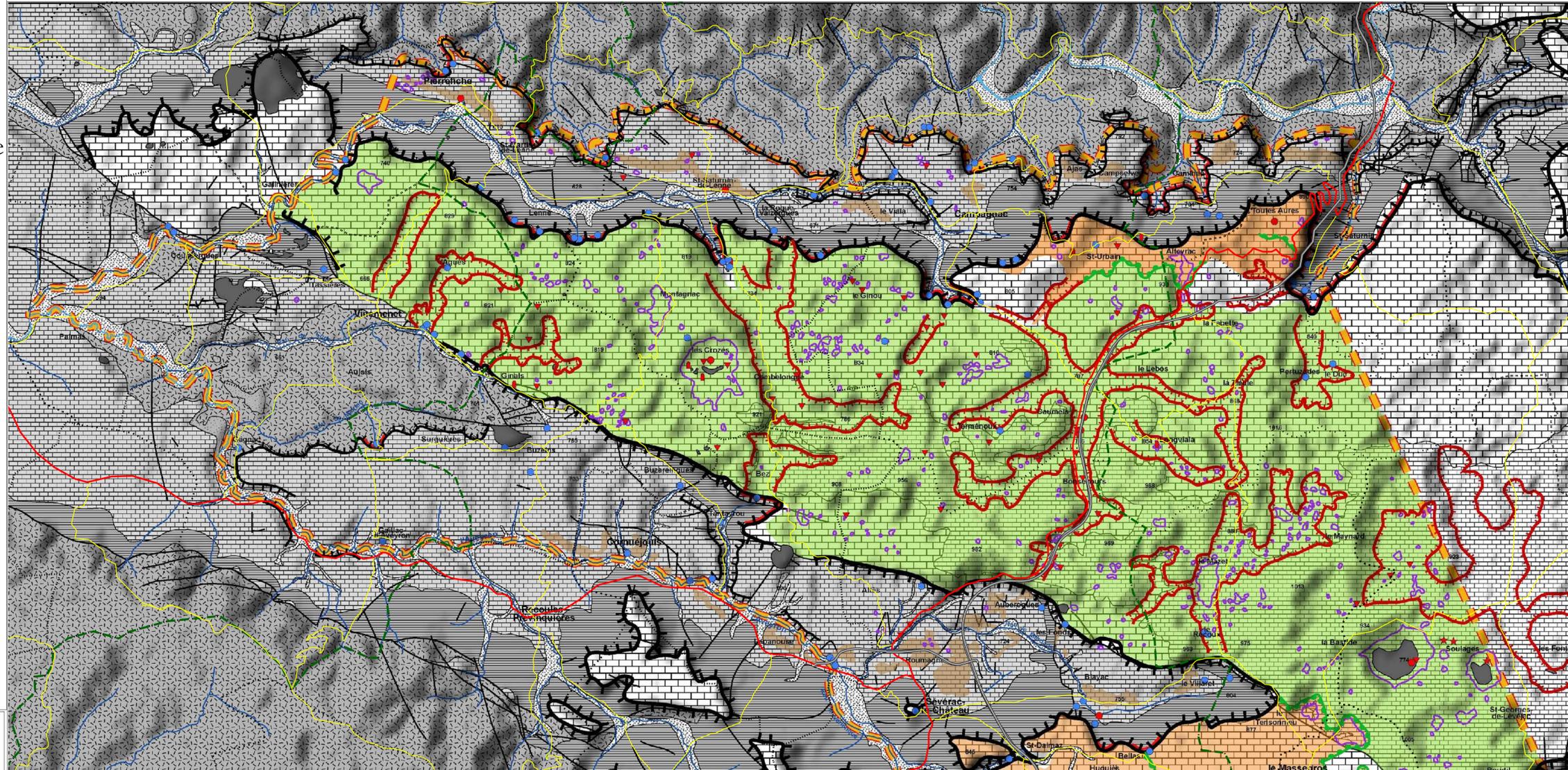


Agence de l'Eau
Adour Garonne



Septembre 2005

Réalisée par L. DANNEVILLE, J-F RAYMOND, D. ARRIBAT



Légende

Réseau routier

- A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Limites

- Limites de commune
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses



Photo 1 : Elément de méga-lapiès dolomitique sur le Causse de Massegros, à l'ouest de la dépression de Cauvel.



Photo 2 : La perte des Sagnes absorbe les écoulements issus des versants perméables. Les eaux enfoncées dès leur arrivée sur les calcaires, resurgissent à la source de Rouveyrol (Les Vignes).

- | | | | |
|--|--|---|--|
| <p>I - LIMITE</p> <ul style="list-style-type: none"> Limite d'étude | <p>II - LITHOLOGIE ET FRACTURATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Faille Alluvions fluviales Basaltes, formations basaltiques, pépérites Malm : calcaires et dolomies Dogger : calcaires et dolomies Lias marnéux Lias calcaire et dolomitique Trias : grès et argilites Anté-Trias | <p>III - HYDROLOGIE</p> <ul style="list-style-type: none"> Ruisseau pérenne ou temporaire Rivière, cours d'eau principal Source pérenne ou temporaire <p>IV - FORMATIONS SUPERFICIELLES</p> <ul style="list-style-type: none"> Grésou dolomitique Argiles à chailles Crétacé, Crétacé remanié Apports alloctones Résidus d'altération des calcaires liasiques | <p>V - FORMES TOPOGRAPHIQUES SIMPLES</p> <ul style="list-style-type: none"> Rebord de causse Rebord de l'avant-causse <p>VI - FORMES KARSTIQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> Dépression fermée, doline Vallon fluvio-karstique Bordure de corrosion Reculée karstique (causse) Reculée karstique (avant-causse) Grotte Aven Perte Paléokarst (calcite) |
|--|--|---|--|



Parc naturel régional
des Grands Causses

Etude hydrogéologique
de la partie ouest du Causse de Sauveterre
et de ses avants Causses

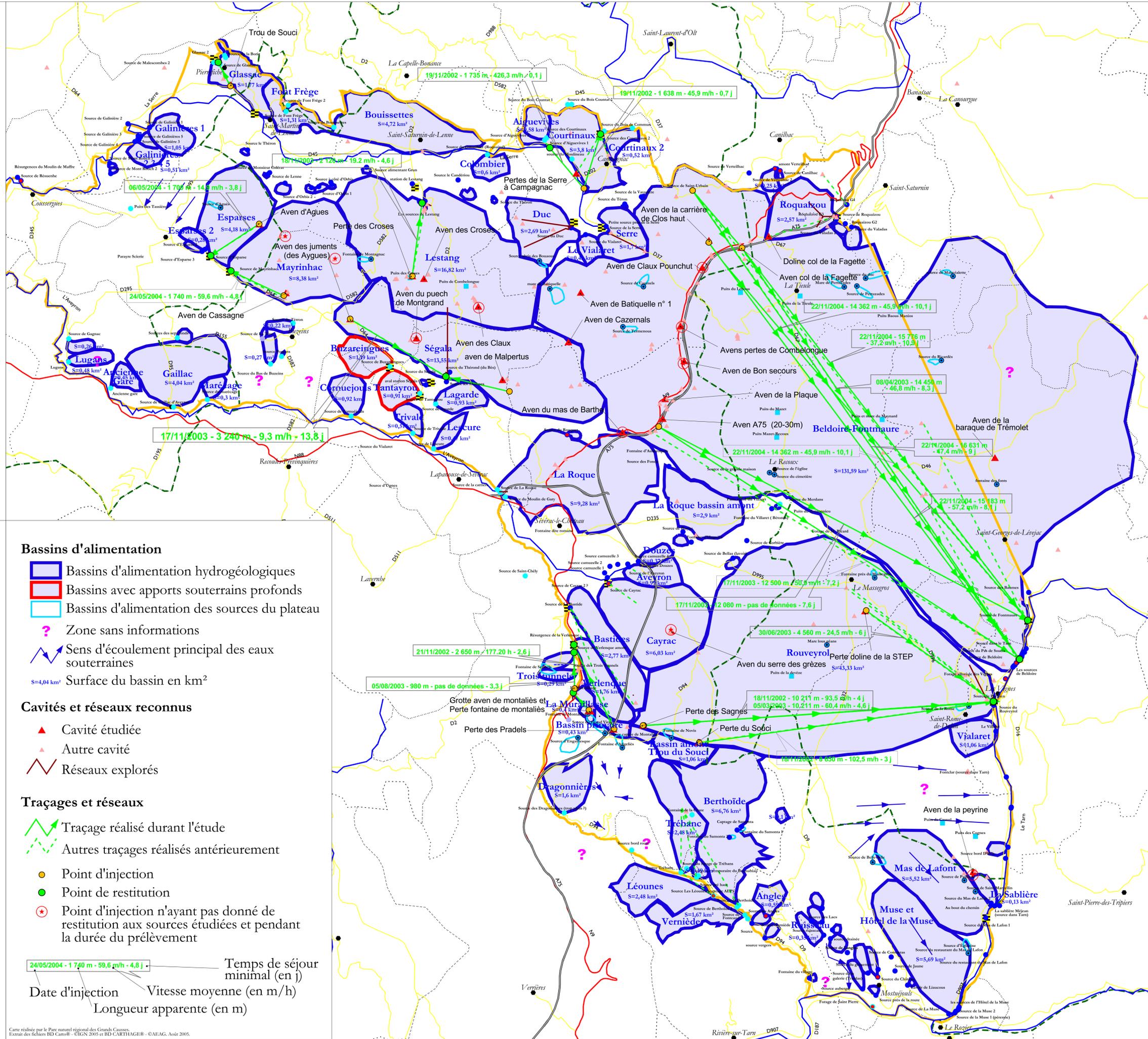
Planche 4
Version 1

**Bassins d'alimentation
des sources
et traçages**

Echelle : 1/ 52 000



Septembre 2005



Légende

Réseau routier

- A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Limites

- Délimitation du périmètre d'étude
- Limites des communes du Parc
- Commune
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses

Réseau hydrographique

- Rivière

Stations

- Station hydrométrique

Sources et puits

- Sources du jurassique supérieur
- Sources du lias
- Sources sur le causse
- Puits
- Autres sources
- Sources captées pour l'Alimentation en Eau Potable

Bassins d'alimentation

- Bassins d'alimentation hydrogéologiques
- Bassins avec apports souterrains profonds
- Bassins d'alimentation des sources du plateau
- Zone sans informations
- Sens d'écoulement principal des eaux souterraines
- Surface du bassin en km²

Cavités et réseaux reconnus

- Cavité étudiée
- Autre cavité
- Réseaux explorés

Traçages et réseaux

- Traçage réalisé durant l'étude
- Autres traçages réalisés antérieurement
- Point d'injection
- Point de restitution
- Point d'injection n'ayant pas donné de restitution aux sources étudiées et pendant la durée du prélèvement

Date d'injection

Vitesse moyenne (en m/h)

Longueur apparente (en m)

Temps de séjour minimal (en j)

Carte réalisée par le Parc naturel régional des Grands Causses. Extrait des fichiers BD Carthage - ©IGN 2005 et BD Carthage® - ©AEAG, Août 2005.



Parc naturel régional des Grands Causses

Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants Causses

Planche 5

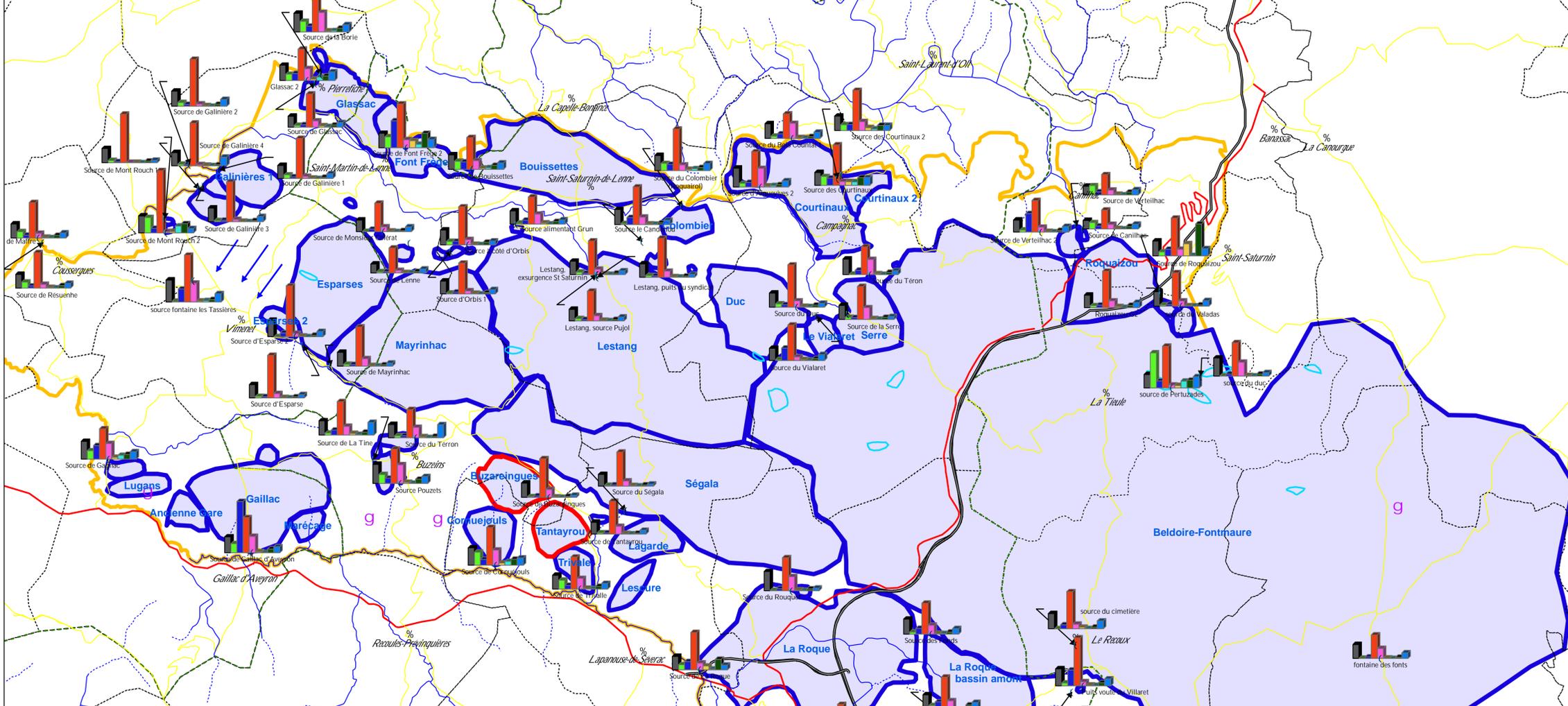
Version 1

Hydrochimie

Echelle : 1 / 52 000



Septembre 2005



Réalisée par L. DANNEVILLE, J-F RAYMOND, D. ARRIBAT

Légende

Réseau routier

- Autoroute A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Limites

- Délimitation du périmètre d'étude
- Limites de commune
- Commune
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses

Réseau hydrographique

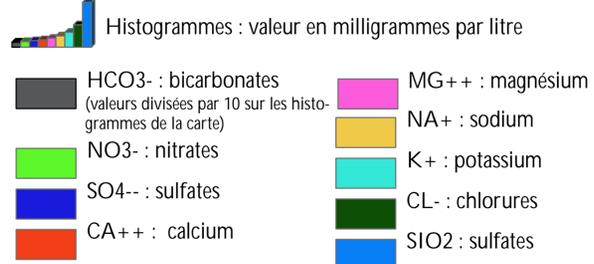
- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent

Bassins d'alimentation

- Bassins d'alimentation hydrogéologiques
- Bassins avec apports souterrains profonds
- Bassins d'alimentation des sources du plateau
- g Zone sans informations
- Sens d'écoulement principal des eaux souterraines

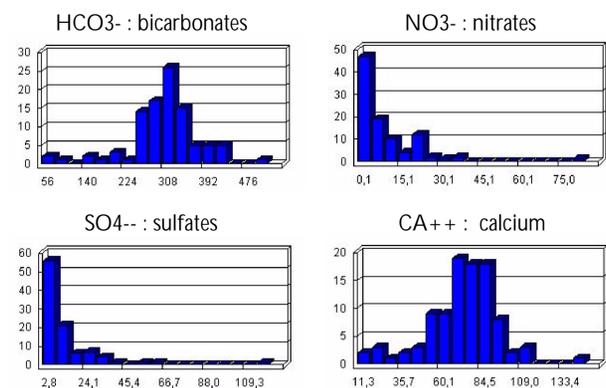
Hydrochimie

Sources concernées par le suivi hydrochimique (été 2003)



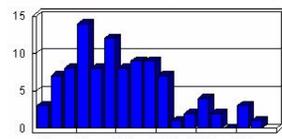
	HCO3-	CL-	NO3-	SO4--	CA++	MG++	NA+	K+	SIO2
minimum	56,0	2,0	0,1	2,8	11,3	1,1	1,1	0,1	3,5
maximum	505,0	73,6	81,2	118,0	143,4	45,2	120,0	16,0	31,0
moyenne	308,6	8,5	9,8	13,1	74,6	18,0	4,6	1,7	13,6

Fréquences de distribution

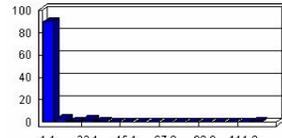


Fréquences de distribution

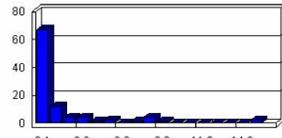
MG++ : magnésium



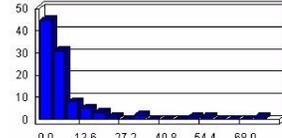
NA+ : sodium



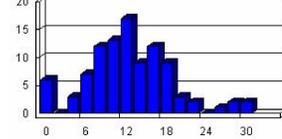
K+ : potassium



CL- : chlorures



SIO2 : sulfates



Carte réalisée par le Parc naturel régional des Grands Causses. Extrait des fichiers BD Carthage - © IGN 2005 et BD Carthage - © AEAG, Septembre 2005.



Parc naturel régional
des Grands Causses

Etude hydrogéologique
de la partie ouest du Causse de Sauveterre
et de ses avants Causses

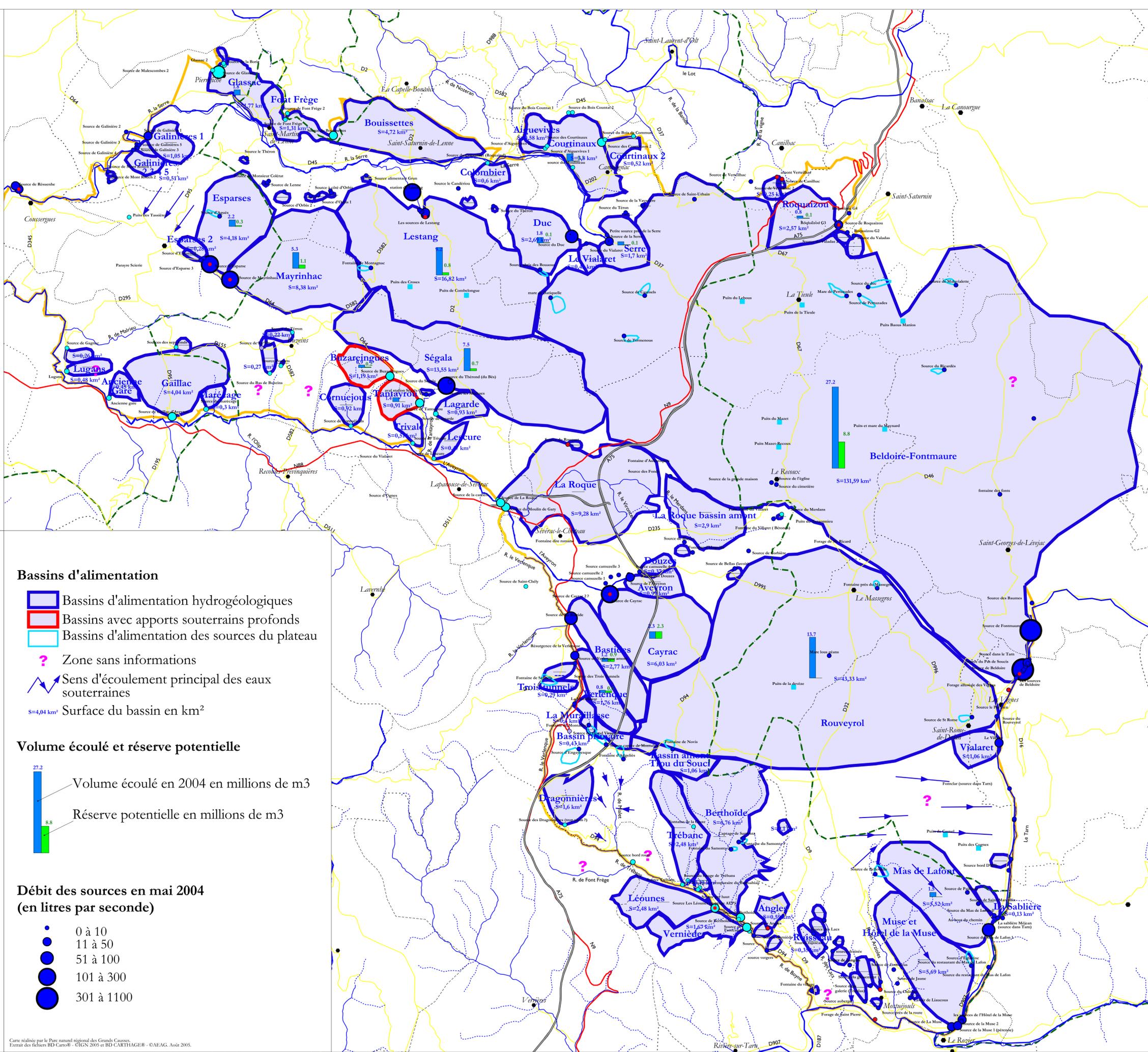
Planche 6
Version 1

**Débits des sources,
réserves potentielles
et volume écoulé
durant le cycle
hydrologique 2003-2004**

Echelle : 1 / 52 000



Septembre 2005



Légende

Réseau routier

- A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Limites

- Délimitation du périmètre d'étude
- Limites des communes du Parc
- Commune
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses

Réseau hydrographique

- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent

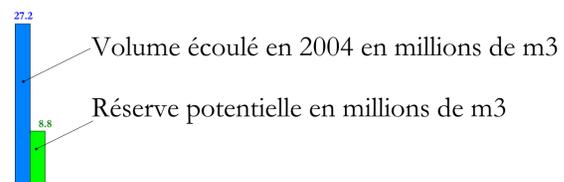
Sources et puits

- Sources du jurassique supérieur
- Sources du lias
- Sources sur le causse
- Puits
- Autres sources
- Sources captées pour l'Alimentation en Eau Potable

Bassins d'alimentation

- Bassins d'alimentation hydrogéologiques
- Bassins avec apports souterrains profonds
- Bassins d'alimentation des sources du plateau
- Zone sans informations
- Sens d'écoulement principal des eaux souterraines
- Surface du bassin en km²

Volume écoulé et réserve potentielle



**Débit des sources en mai 2004
(en litres par seconde)**

- 0 à 10
- 11 à 50
- 51 à 100
- 101 à 300
- 301 à 1100

Carte réalisée par le Parc naturel régional des Grands Causses.
Extrait des fichiers BD Carthage - ©IGN 2005 et BD Carthage® - ©AEAG, Août 2005.



Parc naturel régional des Grands Causses

Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants Causses

Planche 7 Version 1

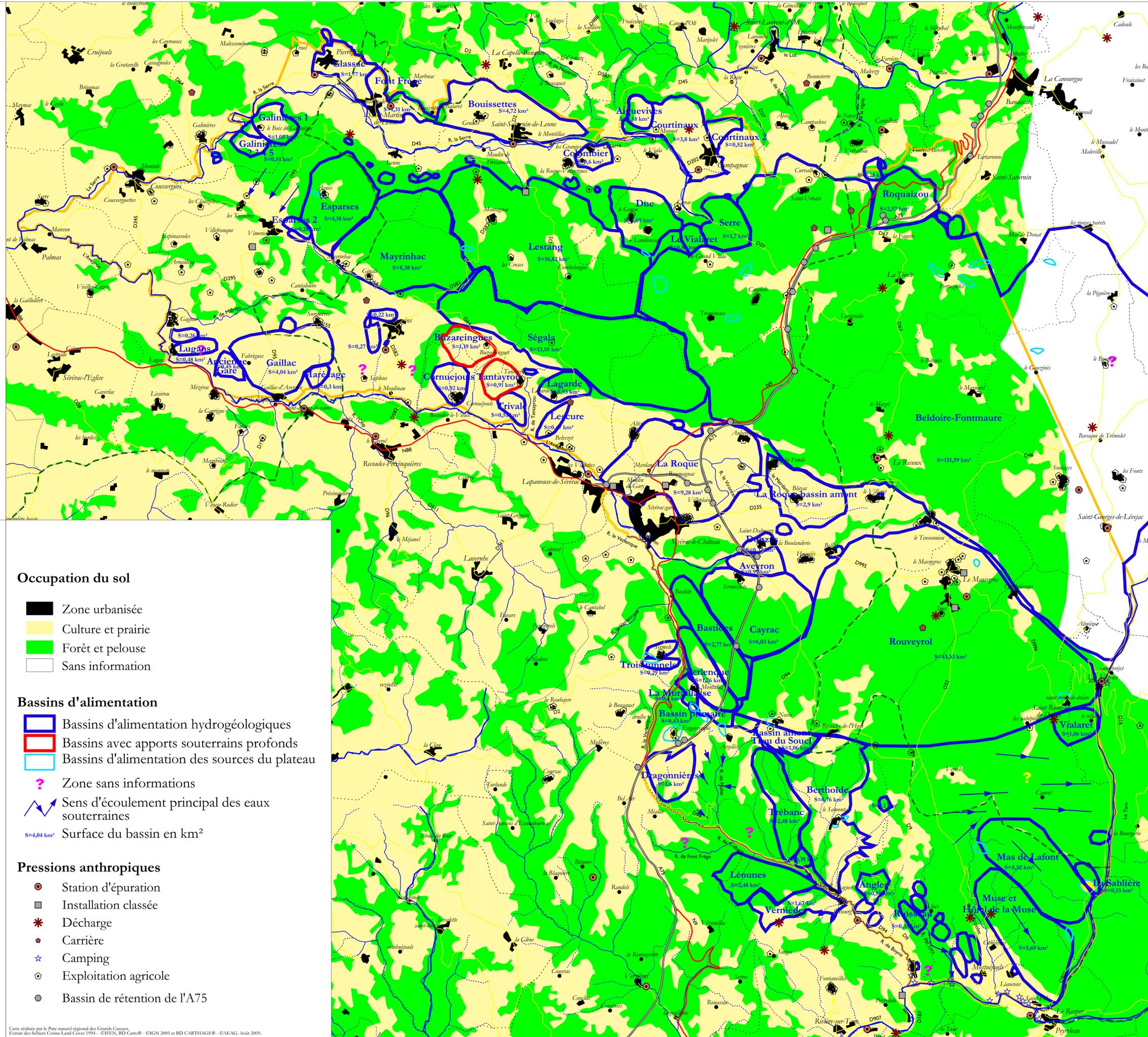
Pressions anthropiques

Echelle : 1/ 52 000



Septembre 2005

Réalisée par L. DANNEVILLE, J-F RAYMOND, D. ARRIBAT



Légende

Limites

- Délimitation du périmètre d'étude
- Limites des communes du Parc
- Commune
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses

Réseau routier

- A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Réseau hydrographique

- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent

Occupation du sol

- Zone urbanisée
- Culture et prairie
- Forêt et pelouse
- Sans information

Bassins d'alimentation

- Bassins d'alimentation hydrogéologiques
- Bassins avec apports souterrains profonds
- Bassins d'alimentation des sources du plateau
- Zone sans informations
- Sens d'écoulement principal des eaux souterraines
- Surface du bassin en km²

Pressions anthropiques

- Station d'épuration
- Installation classée
- Décharge
- Carrière
- Camping
- Exploitation agricole
- Bassin de rétention de l'A75



Parc naturel régional des Grands Causses

Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants Causses

Planche 8

Version 1

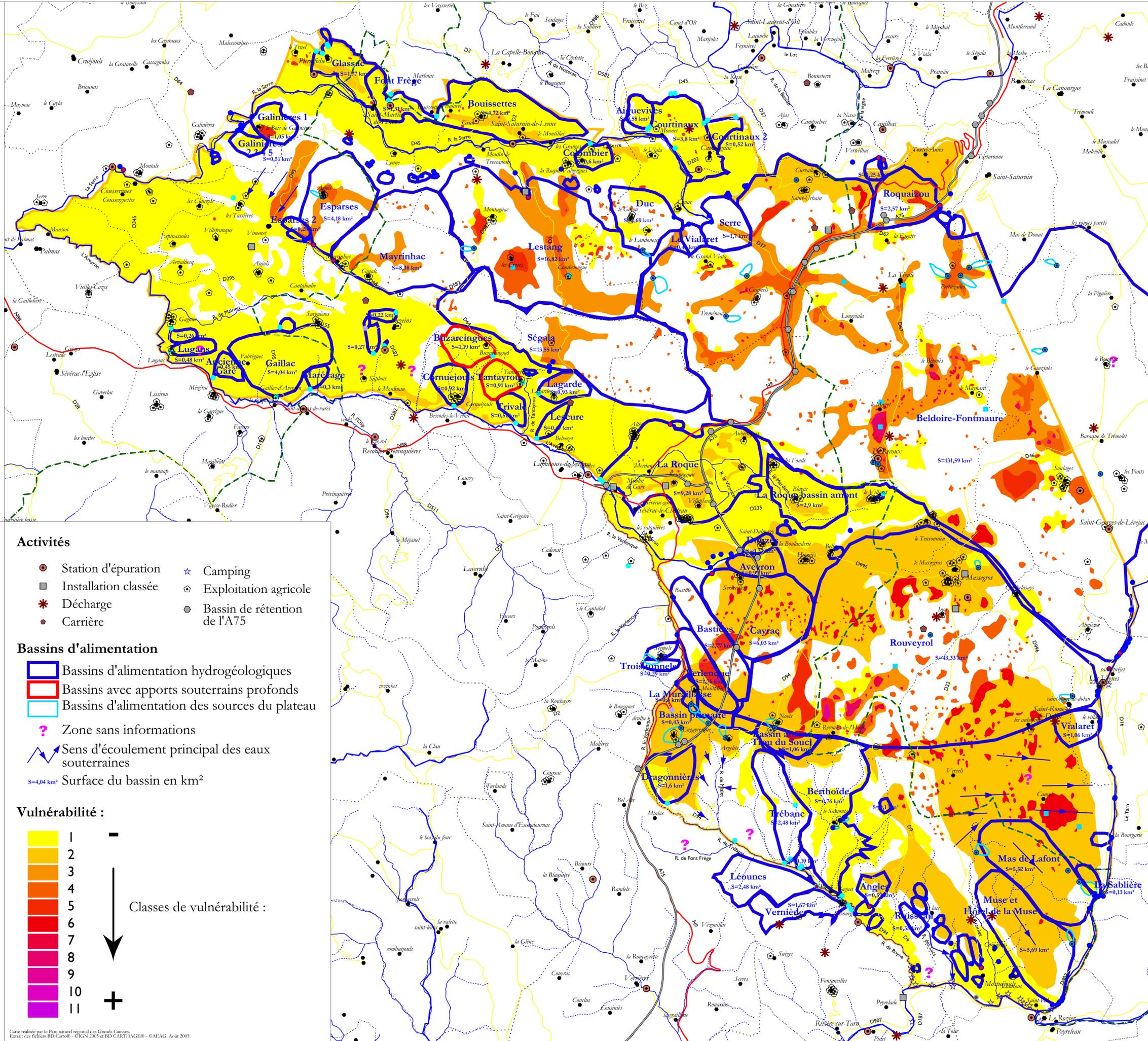
Vulnérabilité et dangers

Echelle : 1/ 52 000



Septembre 2005

Réalisée par L. DANNEVILLE, J-F RAYMOND, D. ARRIBAT



Légende

Réseau routier

- A 75
- Routes nationales
- Routes départementales

Limites

- Délimitation du périmètre d'étude
- Limites des communes du Parc
- Commune
- Principaux hameaux
- Limites du Parc naturel régional des Grands Causses

Réseau hydrographique

- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent

Sources et puits

- Sources du jurassique supérieur
- Sources du lias
- Sources sur le causse
- Puits
- Autres sources
- Sources captées pour l'Alimentation en Eau Potable

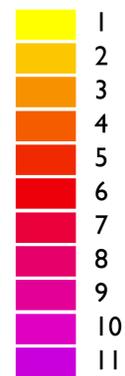
Activités

- Station d'épuration
- Installation classée
- Décharge
- Carrière
- Camping
- Exploitation agricole
- Bassin de rétention de l'A75

Bassins d'alimentation

- Bassins d'alimentation hydrogéologiques
- Bassins avec apports souterrains profonds
- Bassins d'alimentation des sources du plateau
- Zone sans informations
- Sens d'écoulement principal des eaux souterraines
- Surface du bassin en km²

Vulnérabilité :



Classes de vulnérabilité :





Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants Causses

- Détermination des bassins d'alimentation
 - Connaissance du fonctionnement et de la structure des aquifères
- Evaluation de la ressource en eau souterraine
 - Incidence des activités humaines et mesures de protection

Mars 2006



Les Participants :

Cette étude engagée dès 2002 se veut pluridisciplinaire. Outre l'équipe du Parc naturel régional des Grands Causse, plusieurs laboratoires scientifiques et partenaires ressources ont participé à cette étude. Voici donc les personnes qui ont travaillé pour cette étude, en espérant n'avoir oublié personne.

Equipe du Parc : Laurent DANNEVILLE, Alexis ROBERT, Jean-Louis POLYCARPE, Frédéric HERVIEU, Marc THIEBOT, Jean-François RAYMOND, David GRIGORCIUK, Damien ARIBAT et l'équipe des agents d'entretien de l'espace rural pour la mise en place des stations de mesures ;

Pour l'étude hydrodynamique : Alain MANGIN du Laboratoire souterrain de Moulis, Benjamin GARY, Alexandre SEIDEL, Benoît TALBOT, Christine NOËL ;

Pour la partie hydrochimie : Bernard BLAVOUX du Laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Avignon, Messieurs Roland SIMLER et Michel DANIEL pour les prélèvements et les analyses, Monsieur Thibaut BLONDEL pour l'interprétation.

Pour la partie traçages : Michel LEPILLER du Laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Orléans, Délia POULAIN, Véronique de MONTETY, Vincent BAILLY-COMTE, Thibaut BLONDEL ;

Pour la géologie et la tectonique : Stéphane BRUSSET du Laboratoire de dynamique des bassins de l'Université de Toulouse avec la collaboration de Nicole Guerrero ingénieur d'études, de Cécile MATTER, Bertrand GUERRERO et Vivien HESPEL étudiants de maîtrise de Sciences de la Terre.

Pour la géomorphologie : Laurent BRUXELLES et Aimé MALLET de M.S. Ingénierie ;

Les partenaires ressources : Bernard LOISELEUR (spéléologue), Monsieur POMIER, Monsieur Serge GRAÏA (spéléologue).

SOMMAIRE

Sommaire	3
Préambule	18
1 Résumé.....	18
1.1 Géologie, tectonique.....	18
1.2 Géomorphologie.....	19
1.3 Hydrodynamique.....	21
1.4 Informations apportées par la chimie des eaux	24
1.5 Informations apportées par les traçages	32
2 Introduction	36
2.1 Objectif de l'étude.....	36
2.2 Méthodologie	37
2.2.1 Méthodologie d'étude pour la détermination des bassins d'alimentation.....	37
2.2.1.1 Détermination des bassins hydrographiques	37
2.2.1.2 Détermination des bassins hydrogéologiques potentiels.....	37
2.2.1.3 Validation des bassins hydrogéologiques	37
2.2.2 Méthodologie pour connaître le fonctionnement et la structure des aquifères	38
2.2.3 Méthodologie pour évaluer la ressource en eau souterraine	39
2.2.4 Incidences des activités humaines et mesures de protection.....	40
2.3 Equipements et suivis mis en œuvre	40
2.3.1 Equipement.....	40
2.3.1.1 Stations de mesures des débits	40
2.3.1.2 Poste météorologique	44
2.3.1.3 Préleveurs automatiques.....	44
2.3.2 Suivis.....	44
2.3.2.1 Suivi hydrochimique	44
2.3.2.2 Suivi hydrodynamique	44
2.3.2.3 Suivi des traçages	44
2.3.2.4 Suivi météorologique	44
2.4 Le cadre géographique	46

2.5	Contexte climatique.....	47
2.5.1	Généralités.....	47
2.5.2	Précipitations.....	47
2.5.3	Températures de l'air.....	49
2.5.4	Pression de l'air.....	50
2.5.5	Vents.....	50
2.5.6	Les indices climatologiques.....	50
2.5.7	Conclusion.....	51
2.6	Qu'est-ce qu'un aquifère karstique ?	52
2.7	Les aquifères concernés	55
2.7.1	Les aquifères	55
2.7.2	Le réseau hydrographique	56
3	Détermination des bassins d'alimentation	60
3.1	Détermination des bassins hydrographiques et des bassins de drainage.....	60
3.1.1	Bassin de drainage.....	60
3.1.2	Bassin hydrographique ou topographique.....	62
3.2	Détermination de bassins hydrogéologiques potentiels	64
3.2.1	Géologie et Tectonique	64
3.2.1.1	Tectonique régionale	64
3.2.1.2	Microtectonique : plans de drainage	64
3.2.2	Géomorphologie : Les formes karstiques de surface	66
3.2.2.1	Les surfaces	66
3.2.2.2	Les poljés.....	68
3.2.2.2.1	Les poljés liés aux apports en argiles à chailles.....	68
3.2.2.2.2	Le demi-poljé de Sagnes-Novis	71
3.2.2.3	Les vallons fluvio-karstiques	71
3.2.2.3.1	Les vallons fluvio-karstiques du Causse de Masegros	71
3.2.2.3.2	Les vallons fluvio-karstiques du Causse de Sévérac.....	73
3.2.2.4	Les dolines.....	74
3.2.2.4.1	Les dolines à remplissage créacé et à formations apparentées	74
3.2.2.4.2	Les grandes concentrations dolines.....	74
3.2.2.4.3	Les dolines à remplissage de grésou dolomitique.....	75
3.2.2.5	Les reculées karstiques.....	75
3.2.2.5.1	La dépression de Sévérac-le-Château	75
3.2.2.5.2	Les reculées karstiques du causse	76
3.2.2.5.3	Les reculées karstiques de l'avant-causse	77
3.3	Validation des bassins hydrogéologiques	78
3.3.1	Analyses des débits	78
3.3.2	Analyse des bilans hydrologiques	78
3.3.2.1	La théorie.....	78
3.3.2.2	La pratique.....	79
3.3.3	Apports des traçages.....	81
3.3.4	Apport de l'hydrochimie.....	82
3.3.5	Notion de limite de bassin hydrogéologique.....	82

4 Connaissance du fonctionnement et de la structure des aquifères..... 83

4.1	Apport de la tectonique	83
4.1.1	Analyse Microtectonique	87
4.1.2	Interprétation	88
4.1.3	Analyse des coupes	92
4.2	Analyse de la géologie	96
4.3	Analyse des hydrogrammes et des débits.....	101
4.3.1	Les débits des sources principales.....	101
4.3.2	Les hydrogrammes	102
4.3.3	Débits classés	105
4.3.3.1	Théorie	105
4.3.3.2	Résultats	105
4.3.4	Méthodes de traitement du signal.....	106
4.3.4.1	Analyse corrélatoire et spectrale simple.....	106
4.3.4.2	Analyse corrélatoire et spectrale croisée.....	107
4.3.4.3	Analyse en ondelettes : étude des non-stationnarités.....	107
4.3.5	Résultats	108
4.3.5.1	Analyses des chroniques au pas de temps journalier	108
4.3.5.1.1	Analyse croisée pluies-débits (Annexe 3a, b, c dans partie hydrodynamique)	108
4.3.5.1.2	Analyse spectrale de la pluie et des débits (Annexe 4a, b, c dans partie hydrodynamique)	109
4.3.5.1.3	Analyses en ondelettes continues (Annexe 5a, b, c)	110
4.3.5.2	Analyse des chroniques au pas de temps semi-horaire ou horaire.....	110
4.3.5.2.1	Analyse de la répartition des composantes par rapport à l'échelle (Annexe 6a, b, c)	110
4.3.5.2.2	Analyse croisée pluies-débits (Annexe 7a, b, c)	111
4.3.5.2.3	Analyse spectrale des données au pas horaire (Annexe 8a, b, c).....	112
4.3.5.2.4	Analyse en ondelettes continues (Annexe 9a, b, c).....	114
4.3.5.3	Synthèse finale	115
4.4	L'hydrochimie.....	118
4.4.1	Les campagnes générales, juin 2003 et mai 2004.....	118
4.4.1.1	Contexte hydrologique des deux campagnes	118
4.4.1.1.1	Campagne de Juin 2003	118
4.4.1.1.2	Campagne de mai 2004.....	118
4.4.1.2	Les résultats de la campagne d'été 2003.....	120
4.4.1.2.1	Le profil chimique des eaux	120
4.4.1.2.2	Traitement des données par l'analyse en composantes principales	121
4.4.1.2.3	Les classes de concentration par élément.....	124
4.4.1.3	Indications sur l'origine des éléments.....	128
4.4.1.3.1	Les marqueurs du réservoir	128
4.4.1.3.2	Les marqueurs d'impact anthropique.....	135
4.4.1.3.3	Un marqueur ambigu : les sulfates.....	135
4.4.1.4	Les résultats de la campagne de Mai 2004.....	137
4.4.1.4.1	Indications complémentaires des corrélations entre éléments	137
4.4.1.4.2	Comparaisons avec la campagne d'été de juin 2003.....	139

4.4.2	Le suivi mensuel sur un cycle hydrologique : septembre 2002 – août 2003 .	143
4.4.2.1	Les données	143
4.4.2.2	Le contexte hydrologique.....	145
4.4.2.3	Caractéristiques physico-chimiques des sources du suivi.....	145
4.4.2.3.1	Représentativité des sources du suivi.....	145
4.4.2.3.2	Les paramètres physico-chimiques de terrain	147
4.4.2.3.2.1	La température.....	147
4.4.2.3.2.2	Le pH.....	149
4.4.2.3.2.3	La conductivité électrique	150
4.4.2.3.3	Les analyses chimiques	150
4.4.2.3.3.1	Traitement des données par l'analyse en composantes principales 150	
4.4.2.3.3.2	Description chimique des différentes sources.....	155
4.4.2.4	Indications des analyses sur les systèmes karstiques	156
4.4.2.4.1	Indications des marqueurs géologiques.....	156
4.4.2.4.2	Les marqueurs anthropiques.....	159
4.4.2.5	Connaissances et hypothèses sur les systèmes	159
4.4.2.5.1	Le Causse de Massegros	159
4.4.2.5.2	Le Causse de Sauveterre	160
4.4.2.5.3	Le rebord Nord de l'Avant Causse.....	162
4.4.2.5.4	Les sources du Lias de Séverac le Château.....	162
4.4.2.5.5	Le système dolomitique du Mas de Lafon	163
4.5	L'apport de la géomorphologie	164
4.5.1	Introduction	164
4.5.1.1	Description morphologique du secteur étudié.....	165
4.5.1.1.1	Le Causse de Séverac	166
4.5.1.1.2	Le Causse de Massegros	166
4.5.1.1.3	Les Avants-Causses.....	167
4.5.1.2	Les Acquis de l'évolution morphologique des Grands Causses	167
4.5.1.2.1	L'âge du creusement des canyons	168
4.5.1.2.1.1	L'état du creusement à l'orée du Quaternaire	168
4.5.1.2.1.2	Les enregistrements d'un creusement miocène	169
4.5.1.2.2	L'héritage tropical des causses	171
4.5.1.2.2.1	Description morphologique.....	172
4.5.1.2.2.2	Genèse et évolution des méga-lapiès	172
4.5.1.2.3	Les dépôts Crétacés	174
4.5.1.2.3.1	Les formations bauxitiques	174
4.5.1.2.3.2	L'ingression marine du Crétacé supérieur	174
4.5.1.2.3.3	Le Crétacé terminal	176
4.5.2	Les formations superficielles : description et répartition.....	177
4.5.2.1	Les argiles à chailles	177
4.5.2.1.1	Les argiles à chailles autochtones et paraautochtones	177
4.5.2.1.2	Les altérites en transit.....	178
4.5.2.2	Le grésou dolomitique.....	180
4.5.2.3	Les formations issues des dépôts crétacés.....	182
4.5.2.3.1	Les formations bauxitiques	182
4.5.2.3.2	Les calcaires gréseux marins.....	183
4.5.2.3.3	Les argiles versicolores sablonneuses	184
4.5.2.3.4	Les grès ferrugineux et les fragments ferrugineux à matrice fine.....	185

4.5.2.4	Les apports allochtones	186
4.5.2.5	Les formations volcaniques.....	187
4.5.2.6	Les formations périglaciaires	191
4.5.2.7	Les altérites des avants-causses.....	193
4.6	L'apport des traçages	195
4.6.1	Traçages du ruisseau de Serre (traçages 12-1 et 12-2 Aveyron).....	195
4.6.1.1	Traçage par injection instantanée (éosine, traçage 12-1 Aveyron)	196
4.6.1.1.1	Transit de l'éosine dans le ruisseau de Serre.....	196
4.6.1.1.2	Restitution à l'exutoire de Courtinaux I.....	197
4.6.1.1.3	Recherche du traceur a l'exutoire de Courtinaux II	197
4.6.1.2	Traçage par injection continue (rhodamine wt, traçage 12-2 Aveyron) ...	198
4.6.1.2.1	Injection et transit dans le ruisseau de Serre	198
4.6.1.2.2	Restitution a l'exutoire de Courtinaux I.....	199
4.6.1.2.3	Recherche du traceur a l'exutoire de Courtinaux II	201
4.6.1.3	Conclusion.....	201
4.6.2	Traçage de la perte des Pradels (traçage 12-3 Aveyron).....	201
4.6.2.1	Principaux résultats	202
4.6.2.2	Discussion	202
4.6.2.3	Conclusion.....	204
4.6.3	Traçage de la perte des Sagnes (traçage 12-4 Aveyron)	204
4.6.3.1	Discussion	204
4.6.3.2	Conclusion.....	205
4.6.4	Traçage de la perte du Soucis (traçage 12-5 Aveyron)	206
4.6.5	Traçage de la doline du serre des Grezes (traçage 12-6 Aveyron).....	206
4.6.6	Traçage de la perte des Sagnes (traçage 12-7 Aveyron)	207
4.6.7	Traçage de l'aven du col de la Fagette (traçage 12-8 Aveyron)	208
4.6.8	Traçages de l'aven du clos Pouchut (traçage 12-9 Aveyron), de l'aven de Combelongue (traçage 12-10 Aveyron) et de l'effluent de Bonsecours (traçage 12-11 Aveyron) 209	
4.6.9	Traçage de l'effluent de la station d'épuration du Masegros (traçage 48-1 Lozère) 210	
4.6.10	Traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montalies (uranine, traçage 12-12 Aveyron)	211
4.6.11	Traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montalies (aminog acide, traçage 12-13 Aveyron).....	212
4.6.12	Traçage de la perte du Verlenque en aval de la source de la murailasse (traçage 12-15 Aveyron)	212
4.6.13	Traçage de la perte de la source amont de la Verlenque (traçage 12-14 Aveyron) 215	
4.6.14	Traçage de la perte du trou du souci (traçage 12-16 Aveyron).....	216
4.6.15	Traçage de l'aven de l'a75 (traçage 12-21 Aveyron).....	216
4.6.16	Traçage de la perte des Croses (traçage 12-22 Aveyron).....	219
4.6.17	Traçage de l'aven des juments (traçage 12-23 Aveyron).....	221
4.6.18	Traçage de l'aven de Malpertus (traçage 12-24 Aveyron).....	222
4.6.19	Traçage de l'aven du Mas de la Barthe (traçage 12-25 Aveyron)	223
4.6.20	Traçage de l'aven des Claux (traçage 12-26 Aveyron).....	224
4.6.21	Traçage de l'aven du puech de Montgrand (traçage 12-27 Aveyron).....	225
4.6.22	Traçage de l'aven de la Peyrine (traçage 48-2 Lozère).....	225
4.6.23	Traçage de l'aven d'Agues (traçage 12-28 Aveyron)	226

4.6.24	Traçage de l'aven de Cassagnes (traçage 12-29 Aveyron)	227
4.6.25	Traçage de l'aven des Trois Communes (traçage 12-30 Aveyron).....	228
4.6.26	Traçage de l'aven de Belhomme (traçage 12-31 Aveyron)	229
4.6.27	Traçage de l'aven de la carrière de Clos-Haut (traçage 12-32 Aveyron).....	229
4.6.28	Traçage de la perte de la fontaine de Saint-Urbain (traçage 12-33 Aveyron)	231
5	Evaluation de la ressource en eau souterraine	234
5.1	Analyse de la récession	234
5.1.1	Remarques concernant les courbes de tarage.....	234
5.1.2	La théorie.....	235
5.1.3	La pratique et les résultats	236
5.1.3.1	Les coefficients de tarissement	238
5.1.3.2	Volume dynamique	239
5.1.3.3	Une classification des systèmes	240
5.2	Analyse de l'hydrochimie	241
6	Incidence des activités humaines et mesures de protection.....	242
6.1	Inventaire des activités potentiellement polluantes (pression anthropique).....	242
6.2	Apport de l'hydrochimie.....	243
6.2.1	Les campagnes générales, juin 2003 et mai 2004	243
6.2.2	Le suivi mensuel sur un cycle hydrologique : septembre 2002 – août 2003 .	248
6.3	Apport des traçages	251
6.4	La vulnérabilité des aquifères	252
6.4.1	Apport de la géomorphologie.....	252
6.4.1.1	Les pertes actives	252
6.4.1.2	Le rôle ambigu des formations superficielles	255
6.4.1.3	Conclusion.....	256
6.4.2	Etablissement d'une carte de vulnérabilité intrinsèque.....	257
6.4.2.1	Préambule.....	257
6.4.2.2	Méthodologie utilisée	257
6.5	Propositions de zones de protection	259
7	Bibliographie.....	260
7.1	Sur la zone d'étude	260
7.1.1	Rapports ayant servis à l'élaboration du rapport final	260
7.1.2	Eléments disponibles à la Maison du Parc naturel régional des Grands Causses	261
7.1.3	Bibliographie tirée de l'étude sur l'Etat des lieux et programme d'actions sur les karst de Midi-Pyrénées, mars 1997 (RICARD J, DANNEVILLE L)	268
7.2	Partie géomorphologie	271

7.3	Partie hydrodynamique	274
7.4	Partie traçages	278

Légende des figures

Figure 1 : Plaque posée sur chaque tube	42
Figure 2 : Schéma d'un limnigraphe « Richard »	42
Figure 3 : Capteur d'un limnigraphe électronique	42
Figure 4 : Seuil de la source de Bastide (coordonnée : x = 658765,99883, y = 1922624,15535).....	43
Figure 5 : Evolution des précipitations, de la température et de la pression (poste PNRGC) .	48
Figure 6 : Représentation schématique du karst au niveau des Grands Causses	54
Figure 7 : Coupe hydrogéologique typique des Grands Causses	56
Figure 8 : Profils en long des principaux cours d'eau (d'après Paloc, 1972)	58
Figure 9 : Résultat de la modélisation "down-dip". Les couleurs déterminent les différents bassins de drainage. Les lignes blanches correspondent à l'écoulement simulé.	61
Figure 10 : Limites des sous-bassins de drainage drapées sur le MNT. Les couleurs sont identiques à celles de la modélisation.	62
Figure 11 : Bassins topographiques principaux	63
Figure 12 : Histogramme des plans de drainage du Causse de Séverac	65
Figure 13 : Stéréogramme des plans de drainage du Causse de Séverac.....	66
Figure 14 : Photographie - Vue vers le sud depuis les environs de Novis. L'existence d'une surface fondamentale n'est pas une vue de l'esprit. On perçoit bien ici un niveau de replat généralisé qui recoupe indifféremment tous les termes de la série stratigraphique et que l'on retrouve d'un causse à l'autre.	67
Figure 15 : Le poljé de Massegros est favorisé par la présence d'une couverture d'argiles à chailles qui transitent depuis les affleurements de calcaires à chailles du Bajocien par l'intermédiaire de longs versants non structuraux : les ségalas.	69
Figure 16 : Au nord du hameau de St-Urbain, le redressement de la série stratigraphique en direction du nord permet l'affleurement des calcaires à chailles du Bajocien inférieur. Les argiles à chailles transitent le long des ségalas vers le fond de la dépression. Cette morphologie qui a pu correspondre à un poljé est maintenant en partie drainé par un vallon en direction du sud-ouest.....	70
Figure 17 : Plusieurs vallons fluvio-karstiques parcourent la partie occidentale du Causse de Massegros. Ils prennent leur source sur les terrains permo-triasiques qui affleurent au sud de la faille des Palanges.	72

Figure 18 : La dépression de Séverac ne correspond pas à une reculée karstique, mais plutôt à une combe anticlinale. Cette inversion de relief a été facilitée par le déblaiement des marnes du Lias.	76
Figure 19 : Superficie des bassins hydrogéologiques	81
Figure 20 : Bloc diagramme schématique des diverses zones de dépôts et de faciès pendant le Jurassique (d'après P. Dubois, 1985).....	84
Figure 21 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Séverac-le-Château	84
Figure 22 : Carte de localisation des secteurs pris en compte (1/2).....	85
Figure 23 : Carte de localisation des secteurs pris en compte (2/2).....	86
Figure 24 : Stéréogramme de Schmidt des pendages des formations mésozoïques montrant le meilleur grand cercle des pôles des plans de stratification et les trois axes de la matrice d'orientation (Eig 1=86/319, Eigenvalue : 229.63 ; Eig 2=1/213, Eigenvalue : 22.21 ; Eig 3 = 4/123 - axe du plissement, Eigenvalue : 11.16).	87
Figure 25 : Tableau récapitulatifs des différents plans moyens des familles de joints J1 à J4	88
Figure 26 : Représentation cyclographique des plans moyens et de densité des pôles moyens pour l'ensemble des sites étudiés.....	88
Figure 27 : Cinématique de la fracturation dans les Causses mérodionales (Constantin et al., 2002).....	89
Figure 28 : Reconstruction du champ de contraintes dans la région de la Grésigne (Inglès et al., 1999).....	90
Figure 29 : Représentation 3D des fractures dans la première centaines de mètres (exagération verticale = 2.5). L'ensemble du secteur est considéré. Les couleurs des fractures sont les mêmes que celles des différents sites : J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune.	91
Figure 30 : Carte géologique drapée sur le MNT.....	92
Figure 31 : Légende des coupes et tableau des épaisseurs utilisées pour la constructions des coupes.....	93
Figure 32 : Position de la coupe 1 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 1 sans exagération verticale.....	93
Figure 33 : Position de la coupe 2 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 2 sans exagération verticale.....	94
Figure 34 : Position de la coupe 3 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 3 sans exagération verticale.....	94
Figure 35 : Position de la coupe 4 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 4 sans exagération verticale.....	95

Figure 36 : Position de la coupe 5 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 5 sans exagération verticale.....	95
Figure 37 : Position de la coupe 6 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 6 sans exagération verticale.....	96
Figure 38: Coupe synthétique du Jurassique des Causses.....	98
Figure 39: coupe de Campagnac de l'Aalénien et du Bajocien inférieur	99
Figure 40: Coupes des Vignes et de la Canourgue illustrant les dépôts des séries bathoniennes	100
Figure 41 : Débits moyens journaliers	101
Figure 42 : Les hydrogrammes des sources	105
Figure 43 : Courbes des débits classés à Bastide et à Buzareingues.....	106
Figure 44 : Corrélogrammes croisés pour Bastide et Buzareingues	108
Figure 45 : Spectre simple de la pluie (graphique de gauche) et exemple d'un spectre simple sur les débits (graphique de droite)	109
Figure 46 : Scalogramme de la pluie (à gauche) et exemple d'un scalogramme de débit (à droite)	110
Figure 47 : Répartition des composantes suivant l'échelle de temps (exemples de Bastide et de Buzareingues).....	111
Figure 48 : Corrélogrammes croisés (exemples de Bastide et de Buzareingues)	112
Figure 49 : Spectre de la pluie.....	113
Figure 50 : Spectre simple de débit (exemples de Bastide et de Buzareingues).....	113
Figure 51 : Scalogramme de la pluie (à gauche) et exemple d'un scalogramme de débit)....	114
Figure 52 : Classification des différentes sources obtenue à partir des analyses.....	116
Figure 53 : Régime hydrologique de la période d'étude	119
Figure 54 : Points de prélèvements de la campagne Juin 2003.....	120
Figure 55 : Histogramme des conductivités	121
Figure 56 : Tableau de corrélations de la campagne d'été	122
Figure 57 : Corrélations et données sur les axes I et II	123
Figure 58 : Corrélations et données sur les axes I et III.....	124
Figure 59 : Tableau de valeurs caractéristiques des concentrations de la campagne d'été	124

Figure 60 : Distribution des éléments marqueurs du réservoir	125
Figure 61 : Distribution des éléments anthropiques	125
Figure 62 : Distribution du rapport Ca/Mg	129
Figure 63 : Carte des teneurs en magnésium.....	132
Figure 64 : Carte des teneurs en silice.....	134
Figure 65 : Relation nitrates – sulfates de la campagne d’étéage	135
Figure 66 : Carte des teneurs en sulfates.....	136
Figure 67 : Corrélations de la campagne de mai 2004.....	137
Figure 68 : Relation nitrates-chlorures de la campagne de mai 2004	138
Figure 69 : Cercle des corrélations axes I et II.....	139
Figure 70 : Données sur les axes I et II.....	139
Figure 71 : Tableau - Comparaison des teneurs moyennes des deux campagnes.....	139
Figure 72 : Comparaison des teneurs en magnésium des deux campagnes	140
Figure 73 : Comparaison des teneurs en silice des deux campagnes	141
Figure 74 : Comparaison des teneurs en chlorures des deux campagnes.....	142
Figure 75 : Comparaison des teneurs en sulfates des deux campagnes	142
Figure 76 : Comparaison des teneurs en nitrates des deux campagnes.....	143
Figure 77 : Comparaison entre conductivités terrain et conductivités calculées	144
Figure 78 : Analyses du suivi mensuel.....	146
Figure 79 : Tableau de valeurs caractéristiques des températures des sources	147
Figure 80 : Variations mensuelles des températures des sources.....	148
Figure 81 : Paramètres caractéristiques des sources du suivi mensuel	149
Figure 82 : Corrélations du suivi mensuel	151
Figure 83 : Répartition des variables dans le plan I - II	152
Figure 84 : Répartition des échantillons par origine dans le plan I - II.....	153
Figure 85 : Répartition des échantillons par période hydrologique dans le plan I - II.....	154
Figure 86 : Sources du suivi en juin 2003.....	155

Figure 87 : Concentrations moyennes et extrêmes du suivi mensuel	156
Figure 88 : Tableau des teneurs moyennes des sources du suivi	157
Figure 89 : Variations mensuelles des teneurs en silice.....	159
Figure 90 : Contexte géologique et géomorphologique global de la zone étudiée (réalisé à partir des scans de la carte géologique et de la BD MONA).	165
Figure 91 : Modèle numérique de terrain mettant en évidence la différence de topographie entre le Causse de Masegros et le Causse de Séverac.	167
Figure 92 : Coupe synthétique des travertins de Millau (P. Ambert)	169
Figure 93 : Eléments de datation du creusement du canyon du Tarn (Ambert, 1994) :	170
Figure 94 : Photographie - Elément de méga-lapiès dolomitique sur le Causse de Masegros, à l'ouest de la dépression de Cauvel.	173
Figure 95 : Carte de répartition des affleurements connus de Crétacé supérieur en 2001. A cette époque, les dépôts du Causse de Sauveterre n'ont pas été encore découverts.	176
Figure 96 : Photographie - Poche d'argile à chailles dans les calcaires à chailles du Bajocien inférieur. On distingue les lits de chailles qui ont conservé leur structure et attestent du caractère in situ de cette altérite.	178
Figure 97 : Photographie - Tranchée de près de 3 mètres de profondeur réalisée dans la couverture d'argile à chailles en contrebas de la D 995, au nord de Hugès.	179
Figure 98 : Photographie - Excavation de 2 mètres de profondeur réalisée au fond d'une dépression au sud de la ferme des Aubépines (St-Rome-de-Dolan).....	180
Figure 99 : Photographie - L'érosion de la bordure nord du Causse Méjean met bien en évidence l'altération profonde des dolomies qui prédispose à la formation des couloirs (canaules) et des avens.	181
Figure 100 : Photographie - Bloc de bauxite dans une doline à l'est des Fonds. Ce minerai d'aluminium est un jalon géologique majeur dans l'histoire des paysages des Grands Causses.....	182
Figure 101 : Cadre géologique du volcanisme des Causses et du Bas-Languedoc.....	188
Figure 102 : Photographie : Une campagne de sondages menée avec le BRGM et l'Ecole des Mines de Paris nous a permis de recouper près de 50 mètres de dépôts argilo-sableux sombres, peut-être corrélatifs de l'existence d'un lac de maar.	190
Figure 103 : Photographie : La dépression de la Combe n'est pas une doline classique mais un maar. Le fond est constitué de brèches d'explosion plus ou moins cimentées.	191
Figure 104 : Photographie : Coupe de gélifracts de plus de 6 mètres d'épaisseur au nord de Mostuéjols	192

Figure 105 : Avant-Causse de Campagnac. Les plages blanches à rayures correspondent aux altérites issues de la décalcification des calcaires liasiques.	193
Figure 106 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection instantanée). Restitution dans le ruisseau de Serre à Campagnac-Gare.....	196
Figure 107 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection instantanée). Restitution à l'exutoire de Courtinaux I.	197
Figure 108 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection instantanée). Recherche du traceur à l'exutoire de Courtinaux II.	198
Figure 109 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection continue). Restitution dans le ruisseau de Serre à Campagnac-Gare.....	199
Figure 110 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection continue). Restitution à l'exutoire de Courtinaux I.....	200
Figure 111 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection continue). Recherche du traceur à l'exutoire de Courtinaux II.	201
Figure 112 : Traçage de la perte des Pradels . Restitution de l'éosine du traceur à la source de la Verlenque	202
Figure 113 : Traçage de la perte des Sâgnes . Restitution de la sulforhodamine G à la source de Rouveyrol.	205
Figure 114 : Traçage de la perte du Soucis. Restitution de l'uranine à la source de Rouveyrol.	206
Figure 115 : Traçage de la doline du Serre des Grèzes . Comparaison des signaux observés aux différents exutoires surveillés.....	207
Figure 116 : Traçage de la perte des Sagnes . Restitution de l'uranine à l'exutoire de Rouveyrol.	208
Figure 117 : Traçage de l'aven du col de la Fagette . Restitution de la sulforhodamine G à l'exutoire de Beldoire.....	209
Figure 118 : Traçage de l'effluent de la station d'épuration du Massegros. Restitution de l'uranine à l'exutoire de Rouveyrol.	210
Figure 119 : Traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès. Restitution de l'uranine à l'exutoire de la Murailasse.....	212
Figure 120 : Traçage de la perte du ruisseau du Verlenque en aval de la source de la Murailasse. Fonction d'entrée du traceur.	213
Figure 121 : Traçage de la perte du ruisseau du Verlenque en aval de la source de la Murailasse. Restitution de l'éosine à l'exutoire de la Source amont de la Verlenque.	215

Figure 122 : Traçage de la perte du ruisseau du Verlenque en amont de la source de la Verlenque. Recherche de l'aminog acide à l'exutoire de la Source de la Verlenque. ..	216
Figure 123 : Traçage de l'aven de l'A75. Restitution de l'uranine à l'exutoire de Beldoire.	217
Figure 124 : Traçage de l'aven de l'A75. Restitution de l'uranine à l'exutoire de Fontmaure.	218
Figure 125 : Traçage de l'aven de l'A75. Recherche de l'uranine à l'exutoire de Ségala....	219
Figure 126 : Traçage de la perte des Croses. Restitution de l'iodure à l'exutoire du captage de la buse.....	220
Figure 127 : Traçage de la perte des Croses. Restitution de l'iodure à l'exutoire du captage de Saint-Saturnin.....	220
Figure 128 : Traçage de l'aven des Juments. Restitution de l'éosine à la source de Ségala..	221
Figure 129 : Traçage de l'aven de Malpertus. Recherche de l'aminog acide à la source de Ségala.	222
Figure 130 : Traçage de l'aven de Malpertus. Restitution de l'aminog acide à la source de Ségala.	222
Figure 131 : Traçage de l'aven des Claux. Recherche de la pyranine à la source de Ségala.	224
Figure 132 : Traçage de l'aven du Puech de Mongrand. Recherche du bromure à la source de Ségala.	225
Figure 133 : Traçage de l'aven d'Aguès. Restitution à la Fontaine d'Esparse.	226
Figure 134 : Traçage de l'aven de Cassagnes. Restitution à la source de Mayrinhac.	228
Figure 135 : Traçage de l'aven de la carrière de Clos-Haut. Restitution aux sources de Beldoire et de Fontmaure.	230
Figure 136 : Traçage de l'aven de la perte de la fontaine de Saint-Urbain. Restitution aux sources de Beldoire et de Fontmaure.	232
Figure 137 : Tableau - Analyse des courbes de tarage.....	235
Figure 138 : Coefficient de tarissement en 2003.....	238
Figure 139 : Variation du coefficient de tarissement en 2003 et 2004	239
Figure 140 : Volume dynamique de différents aquifères	239
Figure 141 : Classification des systèmes karstiques étudiés	241
Figure 142 : Carte des teneurs en nitrates	244
Figure 143 : Relation chlorures nitrates de la campagne d'été	245

Figure 144 : Carte des teneurs en chlorures	246
Figure 145 : Relations en meq/l entre chlorures et sodium (a), nitrates et potassium (b).....	248
Figure 146 : Variations mensuelles des teneurs en chlorures	249
Figure 147 : Variations mensuelles des teneurs en nitrates	250
Figure 148 : Photographie - Soutirage karstique dans les dolomies du Causse de Massegros (les Aubépines). Il correspond à l'évacuation du grésou dolomitique.	253
Figure 149 : Photographie - La perte des Sagnes absorbe les écoulements issus des versants permio-triasiques. Les eaux enfouies dès leur arrivée sur les calcaires résurgent à la source de la Bastide (Sévérac-le-Château).....	254

PREAMBULE

Dans le cadre de ses missions et notamment la protection, la préservation et la gestion du patrimoine naturel, le Parc naturel régional des Grands Causses a souhaité connaître et préserver la ressource en eau de son territoire en lançant cette étude hydrogéologique d'envergure.

Cette étude s'intègre dans le programme d'actions du Parc naturel régional des Grands Causses concernant la poursuite des études hydrogéologiques pour la détermination des bassins d'alimentation des principales sources karstiques en vue de la protection et d'une gestion patrimoniale de la ressource en eau. Elle s'inscrit à la suite des études hydrogéologiques qui ont été menées sur le Causse du Larzac septentrional (sud du département) et sur le Causse Rouge (au Nord-Ouest de Millau) en relation avec le passage de l'autoroute A75.

1 RESUME

Chaque partenaire scientifique décrit ici les principaux résultats de cette étude pluridisciplinaire.

1.1 Géologie, tectonique

Le Causse de Sauveterre et ses avant-causses sont formés par une série stratigraphique Permo-Mésozoïque discordante sur un socle hercynien. La série Jurassique est essentiellement carbonatée (dolomie et calcaires).

Elle débute par les formations gréseuses du Rhétien-Hettangien inférieur de faible épaisseur. La série carbonatée débute à l'Hettangien-Sinémurien par une succession de trois unités à dominante dolomitique qui présente au sommet des figures d'émersion. Le Carixien est une alternance régulière de séries de plate-forme avec des répétitions marno-calcaires. Le Domérien est représenté par des argiles carbonatées de couleur sombre qui sont encadrées par des ensembles calcaires à la base et au sommet. Le Toarcien est représenté dans sa partie inférieure par la formation des schistes cartons tandis que dans sa partie moyenne et supérieure il s'agit des argiles calcareuses gris noir. L'Aalénien présente une succession à petits bancs de calcaires noduleux. Le Bajocien se traduit par en une série à dominante calcaires parfois oolithiques et par une série dolomitique massive. Cet ensemble dolomitique se développe en direction de l'ouest. Le Bathonien comprend des calcaires finement laminés. Un épisode volcanique limite à la base cet ensemble. Le Bathonien-Oxfordien se présente

sous la forme d'une puissante série dolomitique. Le Kimméridgien inférieur et supérieur montre une succession à dominante calcaire stratocroissante. Cette série jurassique montre d'importante figure de paléokarst. Après un épisode subaérien crétacé, la partie supérieure du crétacé semble transgressive sur la pile jurassique avec des faciès estuarien remplissant des vallées incisées. Cette période transgressif prélude la mise place au sud de la mer paléocène.

La série Jurassique carbonatée constitue un système karstique complexe. En effet, les formations supraliasiques intercalées dans cette série constituent un niveau imperméable et déterminent deux aquifères karstiques, un supérieur et un inférieur. Dans ce type de système hydrogéologique la fracturation des carbonates constitue une clé importante de l'étude, c'est pourquoi une étude microtectonique a été mise en œuvre pour déterminer et établir une quantification du réseau de fracture. Dans l'ensemble la majorité de ces fractures présente un pendage très fort. L'orientation des azimuts du pendage déterminent quatre familles : J1 N-S ; J2 :E-W ; J3 : NE-SW et J4 : NW-SE. L'intersection de ces fractures se situe proche du pôle moyen de la stratification régionale. Cette fracturation reflète la déformation subie après dépôts de ces séries. Par ailleurs un certain nombre de plans striés a été mesuré et traité pour reconstruire les tenseurs de contraintes responsables de ces déformations. Ces tenseurs sont en tous points cohérents avec les connaissances régionales. Ils sont la résultante d'une succession de stades tectoniques : une extension E-W au Lias, une extension NW-SE au Dogger et une extension N-S au Malm. Cette succession d'événements extensifs s'achève probablement au Crétacé inférieur en relation directe avec la géodynamique Pyrénéo-Provençale. Le système structural passe alors à un régime compressif globalement N-S.

Du point de vue de la géométrie des structures d'échelle cartographique, on remarquera un compartiment sud surélevé par des failles inverses à fort pendage dont les exemples les plus démonstratifs sont les failles des Palanges et des Vignes. Il s'agit probablement dans ce cas d'un trait tectonique important hérité de l'histoire structurale de la région. Du point de vue des structures plicatives, nous avons affaire à des plis à fort angle d'interflanc.

Stéphane BRUSSET

1.2 Géomorphologie

L'étude des formes du paysage et la cartographie des formations superficielles de la partie ouest du Causse de Sauveterre ont permis de retracer les grandes étapes de l'histoire de cette partie du plateau. Néanmoins, leur état de conservation présente une certaine variabilité en fonction de l'importance du soutirage karstique.

Le creusement des canyons à partir de la fin du Miocène individualise une série de vastes plateaux qui évoluent désormais indépendamment les uns des autres. Les morphogenèses karstiques se succèdent au fur et à mesure de l'abaissement progressif du niveau de base. Ainsi, plusieurs grands niveaux de replats scandent cet enfoncement, les plus anciens ne se retrouvant alors que sous la forme de lambeaux. Les niveaux les plus bas, en grande partie fossilisés par l'enfoncement des circulations karstiques, ont une extension moindre. Il s'agit néanmoins de vastes poljés, comme celui de Massegros, de vallons fluvio-karstiques qui montrent une nette hiérarchisation sur le causse de Sévérac ou de dolines de toutes tailles.

La répartition de ces morphologies n'est pas aléatoire. Conditionnées par le type de substrat dans lequel elles se sont développées, la présence de formations superficielles plus ou

moins abondantes joue également un rôle déterminant. Ainsi, des lambeaux de niveaux crétacés ont été découverts sur le Causse de Sévérac. Ces dépôts argilo-sableux, localement épais, ont préservé les écoulements du soutirage karstique et ont permis le maintien de plusieurs petits systèmes de vallons fluvio-karstiques. Dans la partie septentrionale du Causse de Massegros, ce sont les argiles à chailles issues des calcaires à chailles du Bajocien qui ont permis la formation et le développement d'un vaste poljé. Plus au sud, la faille des Palanges met en contact les calcaires du plateau avec le socle cristallophyllien. Des écoulements allochtones descendus de ces massifs ont transité sur le causse. Ils ont laissé des traînées de galets de quartz et d'autres roches métamorphiques au fond de vallons fluvio-karstiques. Les éléments volcaniques témoignent quant à eux de grosses éruptions phréato-magmatiques qui ont recoupé à l'emporte-pièce les séries jurassiques du causse.

Si la présence de ces formations témoigne souvent de fonctionnements révolus, leur préservation différentielle à la surface du plateau est révélatrice de la dynamique actuelle de l'évolution karstique hypogée. Ainsi, la présence de pertes actives ou l'apparition de soutirages karstiques est souvent révélatrice d'une organisation de plus en plus efficace du drainage souterrain. Il tend progressivement à démanteler les anciennes morphologies de surface. Ainsi, de nombreuses pertes affectent la bordure sud du poljé de Massegros. Cette vigueur de soutirage karstique peut correspondre au caractère conquérant de la source du Rouveyrol qui s'écoule 400 mètres plus bas dans les gorges du Tarn. Le même type d'observation peut être réalisé sur le Causse de Sévérac où l'on note une fréquence des soutirages beaucoup plus importante dans la partie sud-est du plateau drainée, elle aussi, vers le Tarn. Il semble d'ailleurs possible de considérer, compte tenu de la différence d'altitude des différents exutoires, que le bassin-versant du Tarn bénéficie d'une dynamique bien plus importante que celui de l'Aveyron. Il est donc prévisible, en l'absence d'obstacle structural ou lithologique de taille, que l'hydrosystème karstique du Tarn capture progressivement celui de l'Aveyron dont la plupart des sources sont bloquées au toit des marnes du Lias. Ceci devrait se traduire par un soutirage accru et par un démantèlement des formes karstiques planes au fur et à mesure de son extension vers le nord et l'ouest.

Enfin, la présence de couvertures à la surface des plateaux calcaires a souvent un rôle ambigu et constitue une protection illusoire pour les eaux souterraine. En effet, ces couvertures sont suffisamment étanches pour concentrer les écoulements mais trop peu développées pour les préserver du soutirage karstique. Ainsi, souvent discontinues, elles peuvent favoriser l'enfouissement massif des eaux superficielles. Elles sont en outre extrêmement sensibles à tout impact anthropique, a fortiori dans les secteurs où les manifestations de la dynamique karstique s'expriment clairement.

Laurent BRUXELLES

1.3 Hydrodynamique

Plusieurs aspects ont été analysés :

- 1) la répartition de la perméabilité à partir de la détermination des plans de drainage
- 2) l'analyse des différentes chroniques de débits obtenues sur les 18 sources surveillées
- 3) la recherche d'une estimation des réserves à partir du tarissement.

1. Répartition de la perméabilité

Il est indispensable d'avoir une bonne connaissance de la répartition de la perméabilité. Rappelons, en effet, que les calcaires, tout au moins ceux qui sont concernés par cette étude, ont une perméabilité d'origine nulle, inférieure à celle des argiles. La perméabilité secondaire qui va permettre par la suite aux calcaires de devenir aquifère et de pouvoir se karstifier, est liée à la fissuration.

C'est donc à partir d'une analyse structurale qu'il va être possible d'avoir une idée de l'organisation de cette perméabilité. La méthode utilisée est celle proposée par A. Eraso (Ecole des Mines de Madrid) qui aboutit à la détermination des plans de drainage, c'est-à-dire des plans engendrés par des cassures ouvertes qui permettent à l'eau de s'écouler.

Les résultats indiqués par la figure 1 et 2 montrent un histogramme des différentes directions de ces plans et la représentation stéréographique de ces plans (diagramme de Schmidt, prenant comme référence l'hémisphère supérieur).

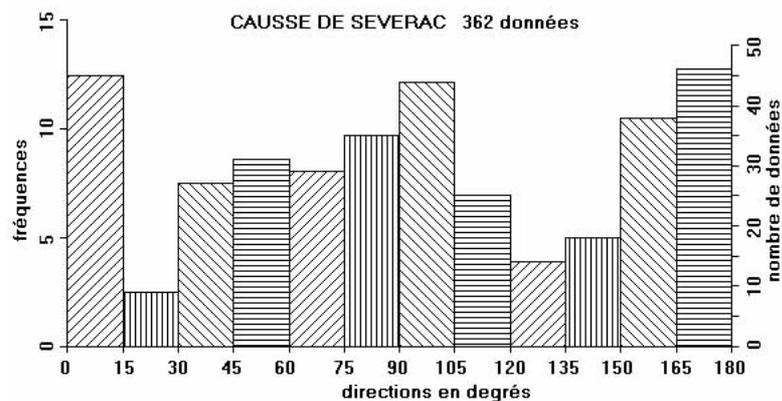


Figure 1

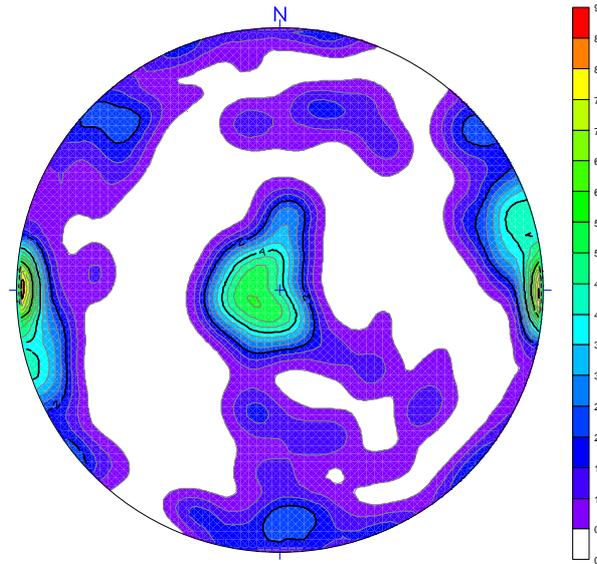


Figure 2

Les plans de drainage obtenus sont tout à fait en accord avec les résultats fournis par S. Brusset sur l'étude géologique et tectonique, où l'on retrouve deux grandes familles de plan de drainage

- a- la première est verticale orientée pratiquement nord-sud,
- b- la seconde orientée N100°E, mais à faible pendage, vers le nord-est.

La première perméabilité va permettre à l'eau de s'infiltrer rapidement et l'hétérogénéité lithologique n'apparaîtra pas.

La seconde au contraire par son faible pendage va conduire l'eau à circuler suivant les strates et l'aquifère va dans ces conditions être de nature multicouche.

Il n'est apparu aucune différence entre les différentes parties du Causse : calcaires, dolomies, ayant les mêmes plans de drainage.

Par ailleurs pour les directions axées sur N100°E, comme l'éventail de la fissuration ouverte va de N60°E à N120°E, lors de la karstification les réseaux de drains vont pouvoir s'anastomoser (respect du laplacien fractal dans sa mise en place).

2. Analyses des différentes chroniques de débits obtenues sur les 18 sources surveillées.

L'analyse des différentes chroniques de débits permet d'acquérir des informations précises sur le fonctionnement des aquifères qu'elles drainent. On constate que globalement toutes les sources présentent dans leur comportement une forte parenté. De plus on retrouve dans les caractéristiques mises en évidence une très forte similarité avec les sources du Larzac septentrional. Il existe donc pour tout ce secteur des Grands Causses une certaine homogénéité.

Malgré tout, apparaissent dans le détail quelques différences. Les analyses indiquent en général une assez bonne réponse à la pluie, indice de la présence d'une karstification, mais avec une décroissance de longue durée qui témoignerait de réserves non négligeables. Ces aquifères, bien qu'ils soient karstifiés traduisent une organisation de drainage pas très développée, où si elle l'a été, par suite d'évolution, est devenue peu fonctionnelle. Ce résultat

est en parfait accord avec les traçages où les vitesses de passage sont généralement inférieures au km/h et avec la géochimie qui montre une bonne minéralisation, donc des temps de séjours importants.

Il est toutefois possible de distinguer de façon nette deux types de comportement. Le premier regroupe les systèmes de Bastide, Courtinaux, Lestang, Rouveyrol, Ségala, Serre, Tantayrou et Verlenque. Le second comprendrait : Buzareingues, Cayrac et Esparses. Entre ces deux groupes se situeraient les systèmes de Roquaizou assez proche du premier groupe, et les systèmes de Duc, Fontmaure, Mas de Lafon, Mayrinhac assez voisin du second.

Le premier groupe serait le plus karstifié. La distinction entre ces groupes ne paraît pas relever de critères géologiques, pétrologiques, voir de critères géographiques. Seule l'histoire géomorphologique de ce secteur pourrait apporter une réponse. Le premier groupe apparaît comme le plus évolué avec des doubles réponses à la pluie, caractéristique également des systèmes du Larzac septentrional (cf. figure 3).

Le deuxième groupe possède un degré de karstification moindre ou un degré de fonctionnalité plus faible en raison de colmatage (cf. figure 3).

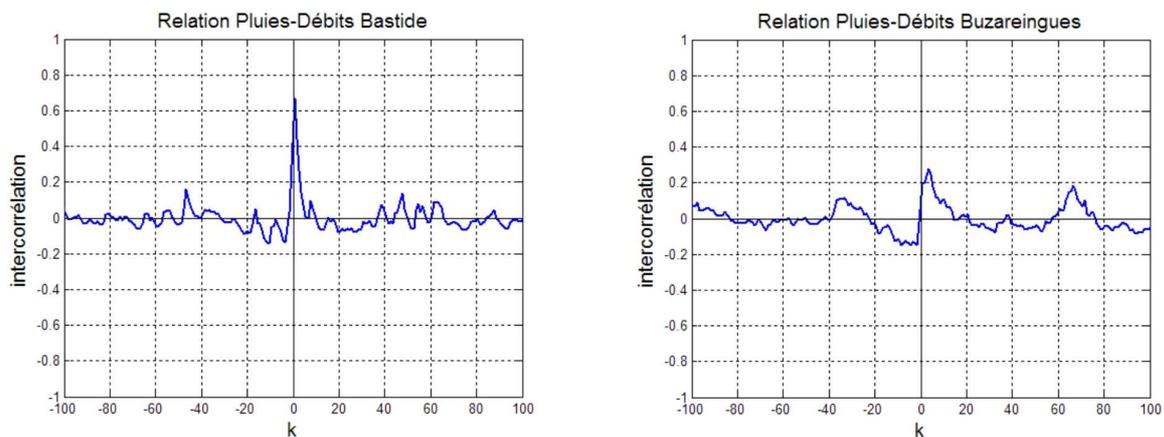


Figure 3

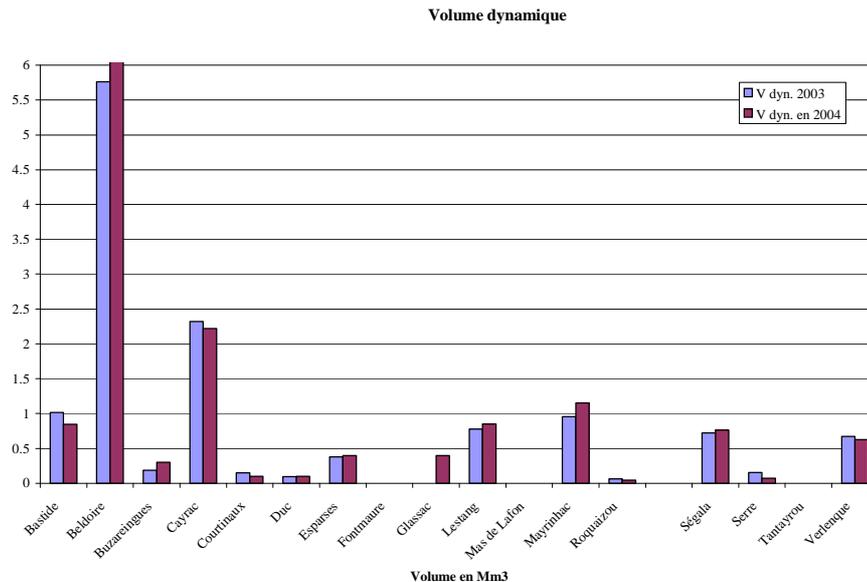
Il apparaît également un point important, dû à la présence d'un niveau de base très bas constitué par la vallée du Tarn. L'organisation de la perméabilité favorise en partie les écoulements dans cette direction, mais avec des conditions différentes, de l'organisation nord sud pour lesquels les plans de drainage sont verticaux. Suivant la direction sud est les plans de drainage sont peu inclinés et l'aquifère devient multicouche avec même parfois des indices de captivité. Ce drainage explique que les sources les plus importantes sont Rouveyrol et Fontmaure. Suivant ce schéma on peut penser à une capture des écoulements progressivement vers le Tarn. Ceci est conforme aux résultats des traçages. Il est en accord également avec les données géomorphologiques.

3. Recherche d'une estimation des réserves

Incontestablement les réserves des différents systèmes sont non négligeables. Toutefois l'approche de leur estimation par l'analyse des courbes de tarissement a été rendue difficile par un grand nombre d'imprécisions des données de débits en étiage.

Il est possible malgré tout d'avoir une assez bonne évaluation qui indiquerait des valeurs de l'ordre du million de m³. Le graphique suivant permet d'apprécier les différentes réserves souterraines présentes à partir de l'étude du volume dynamique.

C'est bien sûr le système Beldoire-Fontmaure qui détient les réserves les plus importantes avec plus de 5 millions de m³. On trouve ensuite Cayrac (2 Mm³), Mayrinhac, Lestang, Ségala, Bastide et Verlenque (autour de 1 Mm³).



Alain MANGIN

1.4 Informations apportées par la chimie des eaux

Pour une meilleure connaissance des bassins versants des sources karstiques et de leur fonctionnement deux approches hydrochimiques ont été mises en œuvre : d'une part deux campagnes exhaustives d'étiage en juin 2003 et de hautes eaux en mai 2004 sur tous les points d'eau et d'autre part un suivi mensuel sur un cycle hydrologique de septembre 2002 à août 2003 de 19 sources importantes équipées de stations de jaugeage. Près de 400 analyses des éléments majeurs et de la silice dissoute avec les paramètres physico-chimiques, température, conductivité et pH mesurés in situ ont été traités dans le cadre de cette étude.

A – Principaux enseignements des campagnes exhaustives

Les campagnes exhaustives et tout particulièrement celle d'étiage ont permis de caractériser et de distinguer les marqueurs chimiques naturels géologiques, des éléments anthropiques introduits dans les systèmes karstiques par les activités agricoles et urbaines.

En ce qui concerne les marqueurs géologiques :

Le rapport molaire Ca/Mg est un bon indicateur du pourcentage des roches dolomitiques dans le système karstique. Compris entre 1 et 2 il indique un milieu essentiellement dolomitique, supérieur à 8 un milieu calcaire alors que deux groupements intermédiaires sont observés indiquant la prédominance des calcaires (entre 5 et 7) et un partage entre calcaires et dolomies (entre 2,5 et 4). Les rapports faibles sont typiques des eaux issues des dolomies du Lias, la reculée Nord des avant - Causses, la combe anticlinale de la dépression de Séverac le Château et le Sud de la faille des Palanges, à quelques rares exceptions. Il s'agit de la terminaison Sud-Est du Causse de Massegros où affleurent les dolomies du Kimméridgien et de la bordure du Causse de Sauveterre quand affleurent les dolomies brunes du Bajocien.

Les fortes valeurs relatives en silice dissoute supérieures à 12 mg.l-1 dans un contexte de teneurs faibles comprises entre 3 et 16 mg.l-1 résultent de la présence sur le bassin versant de formations superficielles spécifiques. Ce sont les épandages allochtones en provenance des terrains siliceux ante-triasiques du massif ancien du Lézou au Sud et à l'Ouest de la zone d'étude ainsi que les accumulations d'argiles à chailles dans les dépressions des calcaires et dolomies du Bajocien-Bathonien.

En ce qui concerne les marqueurs anthropiques, il s'agit des chlorures et des nitrates avec les cations qui leur sont respectivement liés, le sodium et le potassium :

La répartition statistique des teneurs en chlorures montre que l'impact anthropique est perceptible au-delà du seuil de 4 mg.l-1 hérité des seules précipitations efficaces. Les teneurs restent cependant faibles et l'impact anthropique n'est manifeste que pour les teneurs supérieures à 12 mg.l-1 dont 5 échantillons dépassent 25 mg.l-1. Ces points se localisent à proximité d'un axe de communication et/ou d'une agglomération, indépendamment de la géologie.

Pour les nitrates, plus de la moitié des échantillons (51/92) présente des teneurs inférieures à 6 mg.l-1 en NO₃ qui est le seuil au-delà duquel sont perceptibles les impacts de l'activité humaine. Il s'agit de l'utilisation des engrais en agriculture et du déversement d'effluents d'origine animale ou humaine qui rejoignent les circulations karstiques, via les stations d'épuration, ou même directement. Cinq sources seulement dépassent la teneur de 25 mg.l-1 et une seule 50 mg.l-1. Les teneurs excessives se localisent dans les dépressions liasiques des vallées de l'Aveyron et de la Serre (rebord de l'avant-Causse) qui sont des axes de communication avec urbanisation et des zones de culture.

La corrélation entre chlorures et nitrates, bien exprimée pour la campagne de hautes eaux et lors du suivi mensuel, n'est qu'à peine esquissée pour la campagne d'étiage (fig.4). La croissance simultanée de Cl et NO₃ indique un impact des eaux usées d'origine humaine ou animale. Une évolution verticale traduit l'apport très majoritaire de chlorures résultant du salage des routes ou du traitement par le chlorure ferrique des effluents de la station d'épuration du Massegros qui atteignent les sources de Rouveyrol et le Parisien. La position bien en dessous de la tendance générale indique un impact prépondérant de l'agriculture.

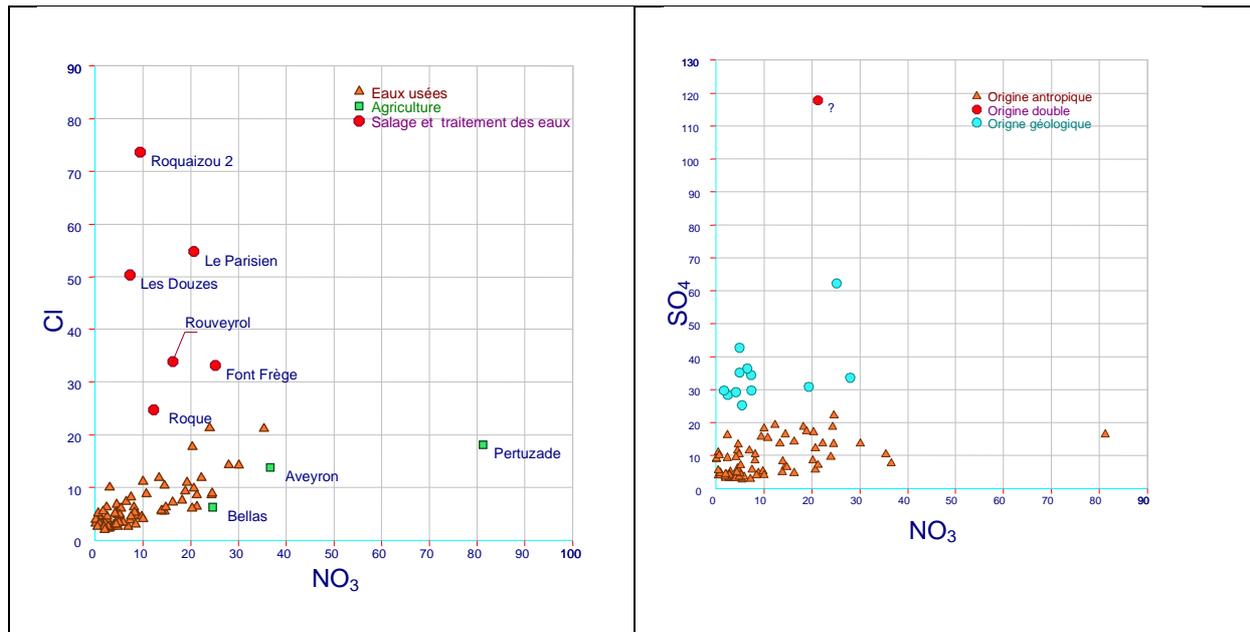


Figure 4

En ce qui concerne les sulfates et peut-être le potassium, ils doivent être considérés comme des marqueurs ambigus :

Les sulfates des sources dont la concentration ne dépasse pas 20 mg.l-1 sont bien corrélés avec les nitrates et leur origine anthropique est vraisemblable. Toutefois les sources dont les teneurs dépassent 30 mg.l-1 échappent à cette relation (fig.2) et une origine géologique du sulfate peut être trouvée dans leur contact avec le lias marneux et tout spécialement les marnes grises à fossiles pyriteux du Toarcien ou dans d'autres cas avec les argiles du trias. Ainsi l'abondance relative de sulfate devient un marqueur géologique quand l'eau n'est pas affectée par une pollution identifiable par les excès en nitrates et en chlorures.

Il pourrait en être de même avec le potassium dont les teneurs sont bien corrélées avec les nitrates. Quelques rares teneurs élevées pour des eaux froides (supérieures à 5 mg.l-1) pourraient avoir pour origine un contact avec les formations triasiques bien que ces eaux de l'avant-Causse liasique soient aussi polluées par des eaux usées.

La concentration moyenne en HCO₃ des sources du karst de Sauveterre en étiage (317 mg.l-1) est élevée par rapport aux concentrations connues sur d'autres régions karstiques, Jura (280 mg.l-1), Fontaine de Vaucluse (260 mg.l-1) et aussi le Larzac proche (250 mg.l-1). Des teneurs supérieures à 350 mg.l-1 sont même atteintes pour les sources issues d'un réservoir dolomitique. Ces résultats font penser à des circulations assez lentes dans un réseau de drainage moyennement développé.

B – Indications du suivi mensuel

- Le suivi et la comparaison des variations des paramètres physico-chimiques des 19 sources au cours d'un cycle hydrologique permettent de préciser leur fonctionnement, les raisons de l'état qualitatif du système et la manière dont les éléments anthropiques parviennent à l'exutoire.

- Sur un diagramme de Piper (fig.5) où ont été distinguées parmi toutes les analyses de la campagne d'été celles relatives au suivi mensuel, ces dernières présentent une dispersion assez proche de l'ensemble des points et peuvent être considérées comme représentant le Causse de Sauveterre. A l'exception du forage profond de Trébans, elles présentent toutes un faciès bicarbonaté calcique avec une tendance marquée dans le triangle des cations vers un faciès mixte calcique et magnésien caractéristique du milieu dolomitique et une dispersion amorcée dans le triangle des anions depuis le faciès purement bicarbonaté vers un pôle anthropique Cl + NO₃ et plus rarement vers le pôle sulfaté.

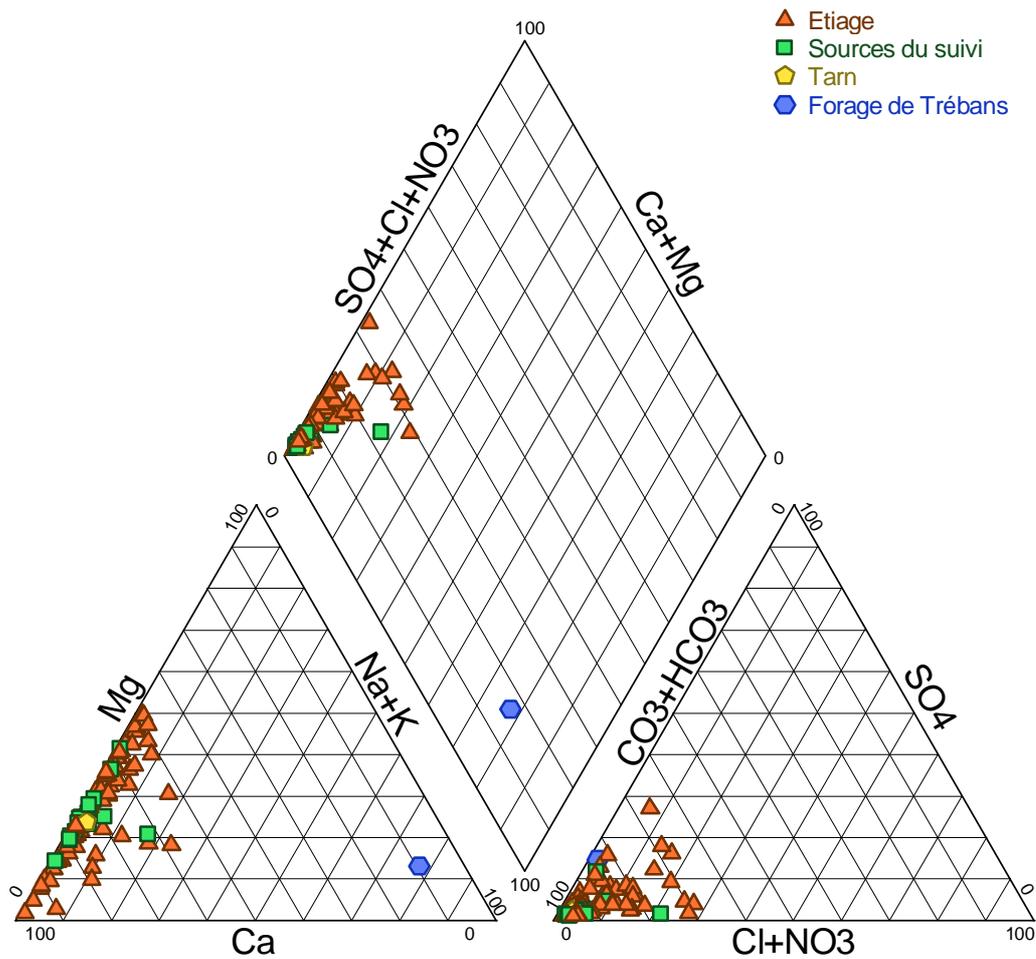


Figure 5

- Un traitement des données du suivi mensuel par l'analyse en composantes principales rend compte des relations entre les différents descripteurs :

En ce qui concerne la répartition des variables dans le plan I – II (fig.6), l'axe I est caractérisé par la minéralisation de l'eau, sa conductivité, les ions indicateurs d'impact anthropique, NO₃, Cl, Na et K accompagnés de SiO₂ qui a pour origine les formations superficielles, les ions Ca et surtout SO₄ et HCO₃ marqueurs du réservoir carbonaté ayant une position intermédiaire. C'est-à-dire que les éléments anthropiques ont plus d'importance sur les variations de minéralisation que les éléments empruntés au réservoir. L'axe II oppose classiquement le pH et l'IsCa à la pCO₂ et caractérise les équilibres carbonatés. L'aération de l'eau entraîne le départ de CO₂ et donc l'augmentation du pH et la saturation de l'eau vis-à-vis de la calcite pouvant aller jusqu'à la précipitation de CaCO₃ favorisant peut-être une augmentation de Mg.

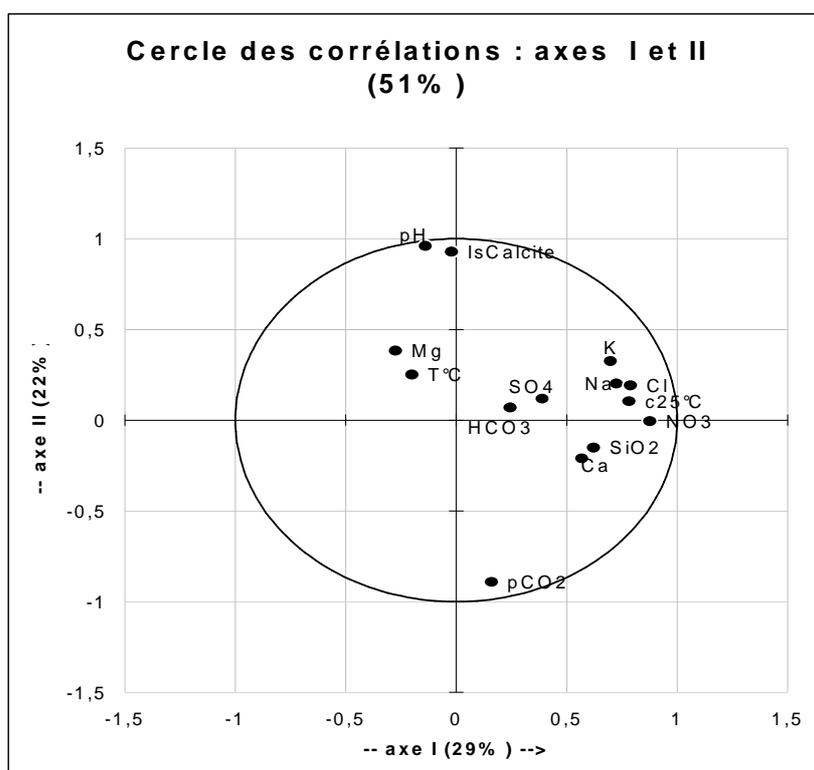
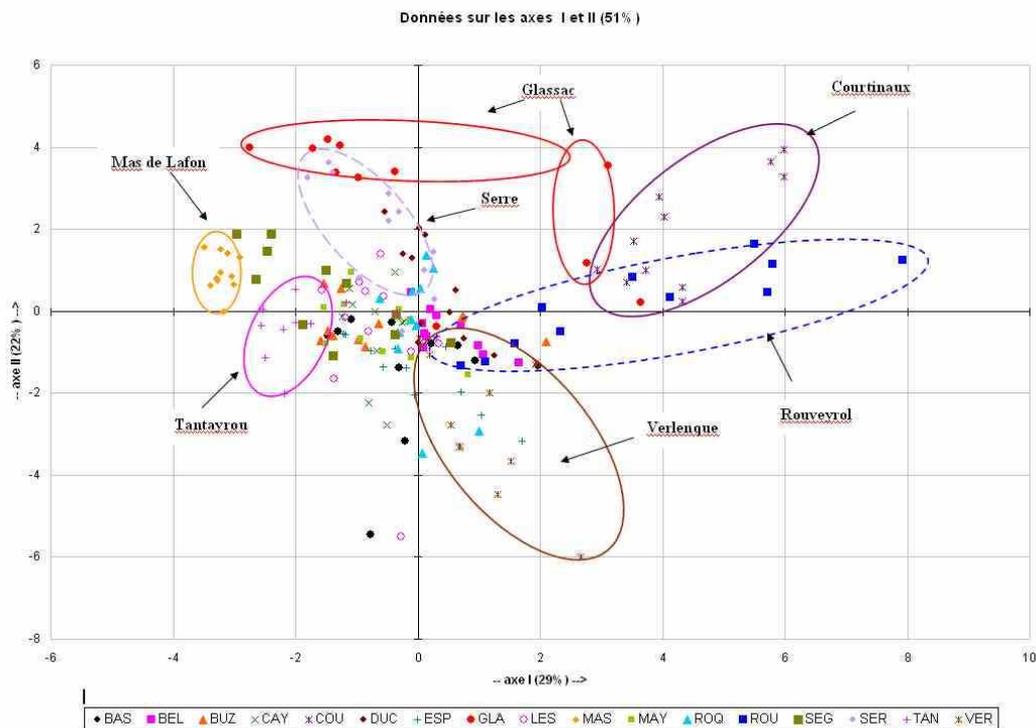


Figure 6

Les échantillons du suivi ont été distingués et regroupés par source dans les plans I – II (fig.7) où la minéralisation est croissante de la gauche vers la droite sur l'axe I tandis que l'aération et l'ouverture du milieu karstique augmentent de bas en haut sur l'axe II. Dans le diagramme on remarque :

- le très bon regroupement des sources du Mas de Lafon et de Tantayrou à gauche et à proximité de l'axe I caractérisant les minéralisations faibles et très constantes et un milieu à l'équilibre.



- Que sur la droite de l'axe II se regroupent les échantillons de Courlinaux à forte minéralisation résultant de la présence permanente des éléments anthropiques et évoluant entre milieu équilibré et dégazé.

- Que dans la partie centrale on trouve des sources à minéralisation moyenne, peu polluées et faiblement variables. Elles évoluent pour la source de Serre entre un milieu à l'équilibre et un milieu dégazé alors que la source de Verlenque évolue d'un milieu à l'équilibre vers un milieu fermé à pH bas, riche en CO₂.

- Que deux sources accusent une très grande dérive horizontale traduisant une minéralisation très variable par suite de pollutions accidentelles, celle de Rouveyrol dans un système à l'équilibre et celle de Glassac dans la partie haute du diagramme dans un domaine très ouvert et dégazé, conséquence du parcours à l'air libre de la rivière Serre dont les pertes alimentent la source.

La présence des éléments anthropiques renseigne sur la vulnérabilité du système, mais la pollution peut se manifester, soit de façon chronique ce qui indique la détérioration de la qualité des réserves ou la permanence de fortes entrées polluantes dans le système karstique, soit de façon accidentelle ou répétitive. L'étude des variations de ces éléments dans le temps en fonction des évènements hydrologiques renseigne sur ces mécanismes.

- Par exemple en ce qui concerne les chlorures (fig.8) certaines sources comme le Mas de Lafon, Cayrac et Serre présentent des teneurs constantes tout au long du cycle hydrologique et des états satisfaisants. D'autres comme Ségala, Bastide et Glassac présentent des augmentations faibles mais significatives en novembre, octobre et janvier lors de petites crues, traduisant leur vulnérabilité. A l'inverse deux sources polluées, Courlinaux et Rouveyrol connaissent des baisses de leurs teneurs en hautes eaux qui peuvent être

interprétées comme la dilution d'un flux polluant se déversant en permanence dans le système. L'hypothèse de réserves de très mauvaise qualité peut être écartée en raison des variations importantes observées durant un long étiage.

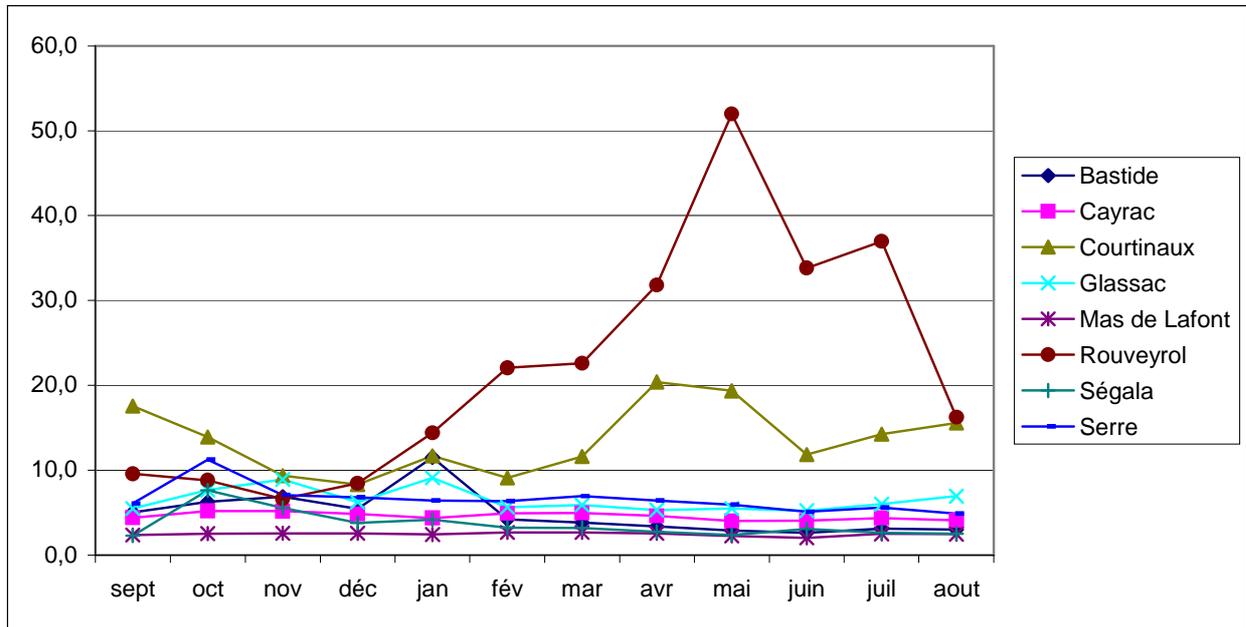


Figure 8

- en ce qui concerne les nitrates ce sont les trois mêmes sources, Mas de Lafont avec une teneur anormalement basse, Serre avec une teneur proche de la valeur naturelle et Cayrac légèrement affectée (fig.9) qui présentent une grande constance. Presque toutes les autres connaissent une augmentation des teneurs en nitrates surtout lors des premières crues d'automne en octobre, novembre mais aussi en janvier, avec des amplitudes croissantes de Glassac, Bastide jusqu'à Ségala, confirmant ainsi leur vulnérabilité déjà entrevue avec les chlorures. Les sources polluées de Rouveyrol et Courtinaux accusent, comme pour les chlorures, de fortes concentrations en étiage confortant l'idée d'un déversement permanent et conséquent d'eaux usées dans leur réseau. Celle de Courtinaux avec également de fortes teneurs de septembre à novembre est aussi vulnérable au lessivage des sols en automne.

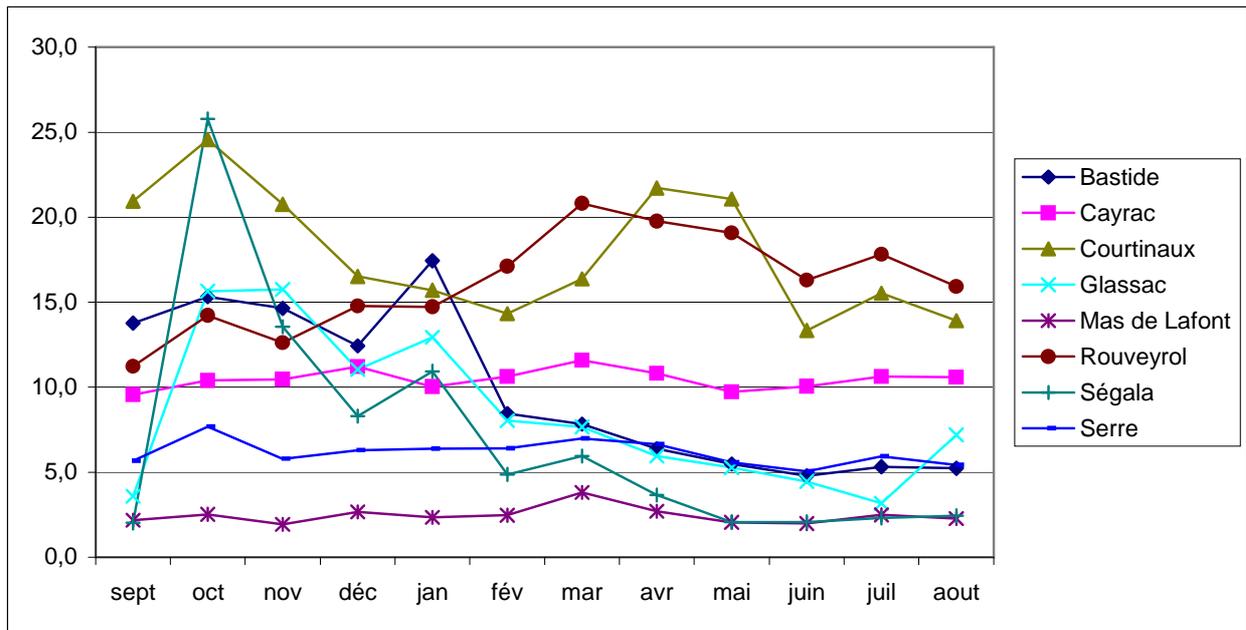


Figure 9

Ces deux approches dont les principaux résultats viennent d'être résumés sont complémentaires. Les campagnes exhaustives ont permis de retrouver l'origine des éléments présents dans l'eau, ceux acquis au contact du réservoir et ceux introduits par les activités humaines et d'en fixer un ordre de grandeur et les marges de variation. Ces résultats sont utiles pour préciser, quand nécessaire, le bassin d'alimentation d'une source et dresser l'état qualitatif de la ressource d'une région. Les campagnes mensuelles sur un cycle hydrologique permettent d'approcher le fonctionnement des systèmes aquifères en comparant leurs variations dans le temps et leurs réactions aux mêmes conditions hydrométéorologiques. Sans être aussi précis et performant que le suivi chimique horaire de quelques épisodes de crue, le suivi mensuel fournit une première indication sur la vulnérabilité d'un système, sur les conditions de circulation dans le milieu karstique (ouverture et karstification, temps de séjour) et sur les conditions dans lesquelles les éléments anthropiques parviennent à l'exutoire.

Bernard BLAVOUX

1.5 Informations apportées par les traçages

Au nord-est de la faille des Vignes (Causse de Sévérac, Causse de Sauveterre)

Les traçages réalisés à partir de points d'injection situés aux deux extrémités d'un axe nord-sud passant approximativement par la vallée sèche de Bonsecours (aven de l'A75 au sud, avens du col de la Fagette, de la carrière de Clos-Haut et perte de la fontaine Saint-Urbain au nord) ont donné lieu à une restitution à l'exutoire de Beldoire et à son trop-plein de Fontmaure, dans la vallée du Tarn. Les exutoires du Pas de Souci, géographiquement proches de ceux de Beldoire et chimiquement identiques, appartiennent au même système. Ces résultats confirment ceux des traçages qualitatifs antérieurs.

La situation de l'exutoire de Beldoire apparaît, non pas contrôlée par la faille de Beldoire qui met en contact des formations carbonatées (dolomies du Kimméridgien inférieur du compartiment nord et calcaires gris à chailles du Bajocien et noduleux de l'Aalénien du compartiment sud), mais par l'existence, dans le compartiment sud de l'accident, d'un pli anticlinal bien visible au-dessus du hameau de Saint-Préjet et qui se poursuit probablement vers le nord-ouest, selon une direction identique à celle de la faille, pour réapparaître au Villaret, dans la vallée du Merdans. Par la remontée des marnes du Toarcien qu'il provoque, ce pli constitue une barrière qui bloque tout écoulement du Causse de Sauveterre vers le Causse de Massegras. Les exutoires de Beldoire sont situés à l'intersection du toit des marnes du flanc nord-est de l'anticlinal avec le talweg du Tarn.

Le traçage de la perte de la fontaine de Saint-Urbain montre que le bassin versant du système de Beldoire-Fontmaure s'étend, à l'ouest de la Fagette, jusqu'au pied de la corniche de calcaires gris du Bajocien qui constituent la bordure nord des Causses de Sauveterre et de Sévérac. Ainsi, une majeure partie de la surface du Causse de Sauveterre s'étendant entre La Fagette, Curvalle, le versant ouest de la vallée de Bonsecours et au sud jusqu'à la ligne de crête topographique située à moins de deux kilomètres au nord de la faille des Vignes, primitivement drainée vers le bassin du Lot par cette vallée, a vu son drainage réorienté vers les gorges du Tarn suite à la profonde incision provoquée par ce cours d'eau dans les formations carbonatées du Causse. Comme l'a montré le traçage antérieur de la doline du col de la Fagette (ROUQUET J., 1976), le système de Roquaizou admet un bassin versant qui s'étend à l'est et au nord d'une limite passant entre l'aven du col de la Fagette et la doline du même nom.

La limite entre le système de Beldoire et celui de Serre, au nord-ouest, n'a pu être précisée, aucun des traceurs injectés dans la vallée de Bonsecours n'ayant atteint cet exutoire. Elle passe donc à l'ouest de tous les points d'injection ayant donné lieu à une restitution à l'exutoire de Beldoire.

Suite au traçage de l'A75, la surveillance de la source de Ségala a permis d'observer l'apparition sporadique de quelques échantillons positifs en uranine. Plus que vers l'hypothèse d'une diffluence d'écoulement en faveur de laquelle il ne plaide guère, le caractère erratique de ces signaux pourrait orienter vers celle d'une pollution par de l'uranine provenant de l'infiltration de détergents ménagers ou industriels dans la formule desquels elle entrerait

comme adjuvant de coloration, à partir des hameaux situés sur le bassin versant de l'émergence.

Entre la faille des Vignes et la vallée du Verlenque (Causse de Masegros)

La plus grande partie de la surface de ce Causse, au nord d'une ligne faille des Palanges - Les Vignes est drainée vers l'exutoire de Rouveyrol situé dans la vallée du Tarn, au pied du flanc sud-ouest de l'anticlinal du hameau de Saint-Préjet. La limite entre ce système et celui de la source de la Verlenque, située dans le talweg du ruisseau du même nom, a pu être précisée par le traçage de la perte des Pradels qui alimente ce dernier et celles des Sâgnes et de Novis qui déterminent l'amont du réseau de drainage du système de Rouveyrol. Ce résultat infirme ceux de traçages antérieurs qui concluaient à une relation entre les pertes des Pradels (SOMMERIA L., 1991) et des Sâgnes (POMMIE J., 1983) et la source de Bastide, dans la vallée du Verlenque, plaçant ainsi la limite à l'est de la perte des Sâgnes. De même, la présomption de relation entre la perte du Soucis à Novis et la source de Cayrac, figurée sur les cartes géologiques à 1/50 000 Saint-Beauzély (MENNESSIER G., COLLOMB P., 1986 ; ASTRUC J.-G., ROCHE J., 1986) et Sévérac-le-Château (ALABOUVETTE B. et al., 1990., PALOC H., 1990) ne trouve-t-elle aucune confirmation dans les résultats des présentes expériences et doit-elle de ce fait être abandonnée.

Les limites des systèmes drainés par les sources de Bastide dans la vallée du Verlenque, de l'Aveyron et de Cayrac dans celle de l'Aveyron, n'ont pu être précisées en raison de l'impossibilité de mettre en évidence la restitution de l'azurant optique employé lors du traçage de la doline du Serre des Grèzes en raison des interférences causées par la fluorescence de la matière organique naturelle mobilisée par les crues qui ont suivi l'injection et des conditions dans lesquelles cette dernière a été réalisée (aven obstrué par des détritux). Devant la rareté des sites favorables à une injection de traceurs dans cette partie du Causse, la réalisation d'une éventuelle nouvelle campagne de traçages destinée à préciser l'organisation du drainage assuré par ces exutoires devra mettre à profit les pertes d'écoulements temporaires qui prennent naissance sur les surfaces où subsistent des altérites, lors d'épisodes pluvieux intenses.

La question de la destinée des eaux perdues par le ruisseau de la Verlenque dans le défilé calcaire de la Muraillesse en conditions de très basses eaux n'a pu être complètement résolue : si la réapparition, au niveau d'un regard (émergence « source amont de la Verlenque » suivie d'une perte quelques mètres à l'aval), d'une proportion infime de la masse de traceur injectée de façon continue dans la perte a permis d'estimer à 0,05 % la contribution des eaux perdues à cette dernière, la destination de la majeure partie du traceur n'a pu être précisée. Ces données conduisent à interpréter la source amont de la Verlenque comme un regard très partiel sur un système traçage qui comporte nécessairement un ou plusieurs autres exutoires qui ne sont ni la source de la Verlenque, ni celle de Bastide comme ont permis de le vérifier des prélèvements effectués pendant le mois qui a suivi l'injection. J. POMMIE (1983) évoque l'hypothèse de L. ROUQUET (1976) selon laquelle la source de Cayrac, située dans la vallée de l'Aveyron, pourrait constituer l'exutoire de ce système karstique qui comporterait un karst noyé étendu. Cette hypothèse, non vérifiée à ce jour par traçage, suppose l'existence d'un axe de drainage dont l'orientation recouperait celle de la relation, démontrée elle, entre la perte des Pradels et la source de la Verlenque et probablement aussi celle de l'axe de drainage du système qui doit alimenter la source de Bastide. Elle se heurte donc à une logique d'organisation des écoulements dont l'exhaure est orientée vers la vallée du Verlenque et non vers celle de l'Aveyron. Il conviendrait, pour apporter une information nouvelle sur le

drainage karstique établi sous le ruisseau de la Verlenque, de réaliser un traçage de la perte de ce ruisseau en période de très basses eaux en surveillant la source de la Verlenque amont et un point situé en aval de la limite d'affleurement des calcaires aaléniens, quelques centaines de mètres en aval de la source de Bastide ainsi qu'une série de jaugeages et de prélèvements du ruisseau destinée à repérer les éventuelles émergences en aval de la source de la Verlenque, c'est-à-dire dans le tronçon du cours du ruisseau où le débit apporté par cette dernière est susceptible de les masquer.

A l'ouest de la vallée de Bonsecours (Causse de Sévérac)

Excepté par le traçage de la perte des Croses qui a montré que le système de Lestang s'étendait vers le sud au moins jusqu'à ce point, la limite entre les systèmes karstiques drainant le Causse vers le nord (vallée de la Serre, affluent du Lot) et ceux le drainant vers le sud (vallée de l'Aveyron) n'a pu être considérablement précisée en raison de l'absence de constat de restitution de plusieurs des traçages effectués à partir de points d'injection (avens des Trois Communes, de Bel Homme et des Claux) situés sur une ligne à peu près équidistante de ses limites nord et sud. Les causes de ces « échecs » résident probablement dans la faiblesse des masses de traceur injectées fixées pour éviter toute perturbation dans la distribution de l'eau de certains exutoires exploités pour la production d'eau potable et dans la rétention et l'adsorption des traceurs par les matériaux constitutifs des colluvions d'altérites qui colmatent plus ou moins partiellement les cavités karstiques parcourues par les traceurs.

L'absence de restitution des traceurs injectés au nord de la faille des Vignes aux exutoires de Buzareingues et de Tantayrou, situés au sud de la faille, confirme le rôle déterminant joué par cette dernière dans la délimitation des systèmes karstiques du Causse de Sévérac drainés vers la vallée de l'Aveyron : ces systèmes restent cantonnés dans le compartiment nord affaissé de cet accident.

Le traçage de l'aven de Cassagnes, situé à 200 m environ de la faille des Vignes, a donné lieu, à la source de Mayrinhac, à une restitution dont les caractéristiques révèlent probablement l'existence d'un karst noyé assez développé dans les formations carbonatées qui présentent une épaisseur maximale en contact avec la faille des Vignes : l'existence d'un pic très aigu (valeur maximale de la D.T.S. apparue un peu plus de 25 h après l'injection indiquant une vitesse modale de 69 m/h) suivi d'une traîne très étalée suggère que le traceur a très probablement transité sans difficulté vers un karst noyé assez développé expliquant l'importance du volume d'eau tracé (830 000 m³). Cette interprétation est confortée par la mesure des températures de l'eau qui révèle une légère anomalie thermique.

Caractéristiques générales des liaisons mises en évidence

Les vitesses apparentes déduites des distributions des temps de séjour (fig.10) ne dépassent pas 100 m/h. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées sur des systèmes traçages dont l'entrée est une perte fonctionnelle (pertes des Sâgnes ou du Souci de Novis – source de Rouveyrol, perte du ruisseau de Serre au trou de Souci – source de Glassac). On notera l'homogénéité des valeurs obtenues pour le système de Beldoire dans des conditions hydrologiques variées (très basses à moyennes eaux) à partir de points d'injection diversement situés. Cette homogénéité et le niveau plutôt moyen des valeurs mesurées suggèrent l'existence d'un réseau de drainage moyennement développé et alimenté en permanence par de puissantes réserves.

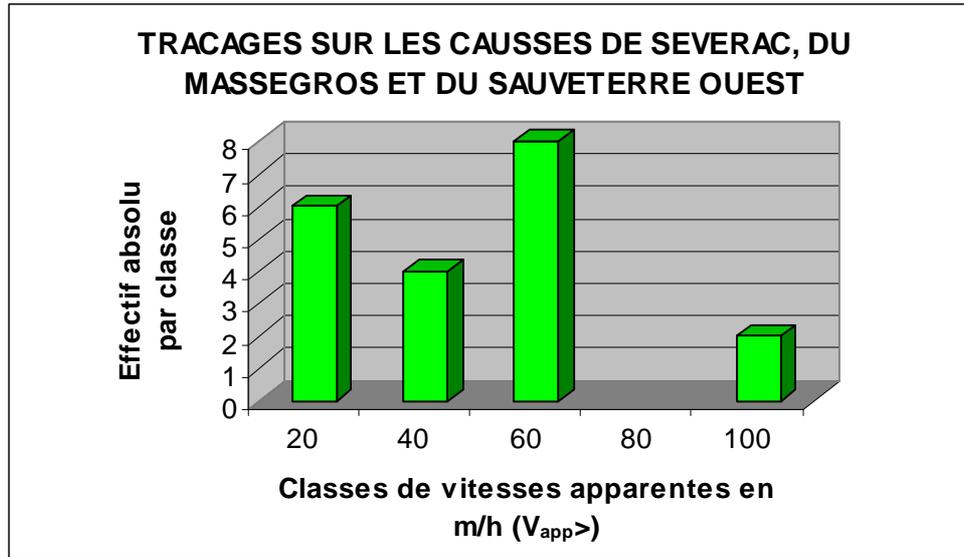


Fig.10 : Distribution des vitesses apparentes mesurées à partir des traçages réalisés sur les Causses de Sévérac, du Sauveterre et du Masegros.

Michel LEPILLER

2 INTRODUCTION

2.1 Objectif de l'étude

Dans le cadre de la protection et d'une gestion patrimoniale de la ressource en eau, le Parc naturel régional des Grands Causses a souhaité mener une étude hydrogéologique sur une unité karstique cohérente pour déterminer les bassins d'alimentation des principales sources karstiques.

Il s'agissait :

- de définir les bassins d'alimentation des sources importantes;
- de connaître le fonctionnement et la structure des systèmes karstiques;
- d'évaluer le volume des réserves exploitables;
- d'effectuer un suivi hydrochimique pour connaître la qualité des eaux et leurs évolutions durant un cycle hydrologique;
- d'évaluer l'impact des activités humaines sur la ressource.

A contrario des études hydrogéologiques classiques, cette étude intègre une méthodologie adaptée à la thématique concernée. Les thèmes ainsi abordés sont :

- la détermination des bassins d'alimentation
- la connaissance du fonctionnement et de la structure des aquifères
- l'évaluation de la ressource en eau souterraine
- l'incidence des activités humaines et les mesures de protection

Le territoire d'étude intéresse le Causse de Sauveterre dans sa partie ouest : Causse de Sévérac, Causse du Massegros et ses avant-causses. Il intègre 23 communes dont 9 sont en Lozère et quelques unes en dehors des limites du Parc. En effet, les bassins hydrogéologiques ne s'arrêtent pas toujours aux limites administratives :

- communes aveyronnaises : Buzéins, Campagnac, Coussergues, Gaillac d'Aveyron, Lapanouse-de-Sévérac, Mostuéjols, Palmas, Pierrefiche, Rivière-sur-Tarn, Saint-Laurent-d'Olt, Saint-Martin-de-Lenne, Saint-Saturnin-de-Lenne, Sévérac-le-Château, Vimenet;
- communes lozériennes : Banassac, Canilhac, La Tieule, Le Massegros, Le Recoux, Les Vignes, Saint-Georges-de-Lévêjac, Saint-Rome-de-Dolan, Saint Saturnin.

La plupart des communes concernées sont regroupées en SIAEP ou SIVOM : SIAEP des Vallées de Serre et d'Olt, SIAEP de la haute vallée de l'Aveyron, SIAEP du Massegros, SIVOM des gorges du Tarn et du Lumansonesque. Quelques communes sont en régie directe.

Le territoire étudié comprend environ une centaine de sources (cf. planche 1) dont les plus importantes sont Beldoire et Rouveyrol (gorges du Tarn), Cayrac à Sévérac-le-Château,

Ségala à Lapanouse-de-Sévérac, Mayrinhac et Esparses à Vimenet, Lestang à Saint-Saturnin-de-Lenne.

Un comité de pilotage a été formé afin de suivre cette étude. Il intègre les prestataires partenaires techniques et financiers : Agence de l'Eau Adour-Garonne, Conseil Régional Midi-Pyrénées, DIREN, DDAFF et DDASS, Conseil Général de l'Aveyron (Service du développement local), ATD 12, Chambre d'Agriculture de l'Aveyron et de la Lozère ; et des personnes "ressources" : Monsieur POMIE, Messieurs LOISELEUR et GRAÏA (spéléologues).

2.2 Méthodologie

2.2.1 Méthodologie d'étude pour la détermination des bassins d'alimentation

Plusieurs éléments et disciplines ont été mis en œuvre.

2.2.1.1 Détermination des bassins hydrographiques

Détermination des bassins hydrographiques pour les sources principales (systèmes unaires et systèmes binaires) : corrélation avec les bassins hydrogéologiques.

2.2.1.2 Détermination des bassins hydrogéologiques potentiels

A partir de :

- l'analyse de la géologie :
 - caractéristiques de l'aquifère : lithologie, déterminations des réservoirs potentiels.
- l'analyse de la tectonique :
 - détermination des réseaux de fracture;
 - failles;
 - pendages;
 - synclinaux, anticlinaux;
 - détermination des directions préférentielles par analyses microstructurales (plans en distension représentant les discontinuités ouvertes);
 - distribution des plans de drainage.
- l'analyse de la géomorphologie :
 - détermination des formes karstiques de surface (vallées sèches, dolines...);
 - détermination des pertes actives et des bassins versants concernés.

2.2.1.3 Validation des bassins hydrogéologiques

A partir de :

- l'analyse des données de débits avec la mise en place de stations de mesures : 3 catégories de station seront distinguées :

- 1) stations complètes : avec mise en place d'un seuil et d'un équipement de mesures. Certaines de ces stations font partie du réseau patrimonial (débit > 10 l/s en étiage).
- 2) stations simples avec mise en place d'un équipement de mesure et aménagement simple du bief (débit < 10 l/s en étiage).
- 3) stations avec simplement des mesures de débits ponctuelles.

- l'analyse des bilans hydrologiques par massifs karstiques et par bassins;

- l'analyse des bilans hydrologiques en tenant compte des précipitations. A cette fin, une station météo sera installée au centre du territoire étudié;

- l'analyse des données hydrochimiques :

- mise en place d'un suivi hydrochimique sur un cycle hydrologique complet intégrant :
 - les paramètres naturels : éléments majeurs et paramètres physico-chimiques, relation avec la géologie du bassin d'alimentation (corrélation avec la lithologie locale et avec l'hydrochimie du Causse Rouge et du Causse du Larzac);
 - les paramètres anthropiques représentatifs des pollutions potentielles : chlorures, nitrates, sodium, potassium, métaux lourds... (Corrélation avec les activités polluantes potentielles : pollution domestique, pollution agricole, pollution industrielle, réseaux routiers, décharges habilitées, décharges sauvages...);

- traçages :

- report des traçages connus (inventaire des anciens traçages dans la bibliographie),
- mise en place de nouveaux traçages :
 - choix du lieu d'injection à partir de l'inventaire des cavités naturelles : avens, pertes, grottes (données BRGM, données des spéléologues, données des personnes "ressources"). Les principales caractéristiques des cavités seront recensées :
 - développement;
 - profondeur;
 - présence de circulations souterraines;
 - utilisation des méthodes qualitatives ou quantitatives;
 - échantillonnage à partir de préleveur automatique pour récupération du traceur au niveau des sorties potentielles;
 - interprétation des résultats (quantité de traceurs, durée, courbe de restitution...).

2.2.2 Méthodologie pour connaître le fonctionnement et la structure des aquifères

Plusieurs méthodes seront utilisées :

- l'analyse des données de débits avec :

- l'étude des débits classés qui permettent d'avoir des indices sur la présence de pertes, de trop pleins et de réserves;
- l'analyses des crues, décrues et récessions : indices du fonctionnement de la zone d'infiltration et de l'importance de la zone noyée;

- les analyses corrélatoires et spectrales sur les débits : effet mémoire, temps de régulation, hydrogramme unitaire...
- l'analyse par ondelettes;
- l'analyse des données hydrochimiques sur un cycle hydrologique complet avec :
 - étude de la variabilité des éléments et paramètres physico-chimiques : température, conductivité électrique, éléments majeurs;
 - étude de la distribution des fréquences de conductivités et des autres paramètres;
 - analyse de la silice : indice de remplissage détritique;
 - analyse des temps de séjour;
 - étude du système calco-carbonique;
- l'analyse de la géologie avec :
 - les caractéristiques des aquifères;
 - lithologie, variation de faciès (levés de coupes);
 - géométrie du réservoir;
 - remplissage;
- l'analyse de la tectonique avec :
 - la détermination des réseaux de fracture;
 - les pendages;
 - la détermination des directions préférentielles par analyses microstructurales;
 - le degré d'organisation;
- l'analyse de la géomorphologie;
- les traçages et en particulier l'analyse des phénomènes de transport (quantité de traceurs, durée, courbe de restitution...).

2.2.3 Méthodologie pour évaluer la ressource en eau souterraine

La ressource en eau souterraine sera évaluée à partir de :

- l'analyse des données de débits des sources et plus particulièrement lors de la récession : cette analyse permettra d'estimer le volume dynamique correspondant au volume des réserves souterraines;
- l'analyse des données hydrochimiques :
 - étude des variations et des amplitudes du chimisme sur un cycle hydrologique;
 - étude de la courbe des conductivités classées;
- l'analyse des traçages et en particulier le volume tracé;
- l'analyse des débits des stations de mesures implantées sur le réseau hydrographique et gérées par la DIREN Midi-Pyrénées (Résuenhe sur la Serre, Pont-de-Masson sur l'Aveyron, la Muse et pont de Montbrun sur le Tarn).

2.2.4 Incidences des activités humaines et mesures de protection

L'évaluation de l'incidence des activités humaines sera effectuée à partir de :

- la détermination des activités polluantes potentielles :
 - pollution domestique : étude de l'assainissement existant (STEP, réseau...);
 - pollution agricole : exploitations agricoles, surfaces agricoles...
 - pollution industrielle;
 - réseaux routiers : A75 et RN 88...
 - décharges habilitées, décharges sauvages...
- l'analyse des données hydrochimiques;

Une carte simplifiée de vulnérabilité, aide à la décision pour l'aménagement du territoire, sera établie à partir de :

- l'analyse des formations superficielles;
- les résultats hydrogéologiques (zone d'infiltration et degré de karstification);
- l'analyse des traçages : durée, courbe de restitution....

Des propositions de zones de protection seront formulées pour la mise aux normes des captages AEP et pour faciliter le travail de l'hydrogéologue agréé.

Si nécessaire, des propositions seront faites (aménagement, coûts..) afin de diminuer l'impact d'activités polluantes.

2.3 Equipements et suivis mis en œuvre

2.3.1 Equipement

2.3.1.1 Stations de mesures des débits

Ces stations ont permis de recueillir des données de débits nécessaires pour la réalisation de l'étude.

3 catégories de station ont été mises en place :

1^{er} catégorie : source avec débit d'étiage supérieur à 10 l/s (9 sources). Une station complète a été installée intégrant la mise en place d'un seuil et d'un équipement de mesures.

2^{ème} catégorie : source avec débit étiage compris entre 5 et 10 l/s (9 sources). Une station simple a été installée avec mise en place d'un équipement de mesure et aménagement sommaire du bief.

3^{ème} catégorie : source avec débit d'étiage inférieur à 5 l/s (53 sources). La station a été aménagée afin de pouvoir effectuer ponctuellement des mesures de débits.

1^{er} catégorie : 9 sources sont concernées (cf. tableau joint).

Nom de la source	Nom de la commune	Nom du département
Source de Roquaizou	BANASSAC	LOZERE
Source du Ségala	LAPANOUSE	AVEYRON
Source du Rouveyrol	LES VIGNES	LOZERE
Source de Glassac	PIERREFICHE	AVEYRON
Source de Fontmaure	SAINT-GEORGES-DE-LEVEJAC	LOZERE
Sources de Lestang	SAINT-SATURNIN-DE-LENNE	AVEYRON
Source de La Bastide	SEVERAC-LE-CHATEAU	AVEYRON
Source de Cayrac	SEVERAC-LE-CHATEAU	AVEYRON
Source de Mayrinhac	VIMENET	AVEYRON

Pour certaines d'entre elles, l'installation de la station s'est effectuée dans le cadre de la mise en place du réseau patrimonial national. Il s'agit des sources de Roquaizou, Glassac et la Bastide.

Une station était déjà en place, il s'agit de la station de Lestang qui appartient au SIAEP des vallées de Serre et d'Olt.

2^{ème} catégorie : 9 sources sont concernées (cf. tableau joint).

Nom de la source	Nom de la commune	Nom du département
<i>Source de Buzareingues</i>	<i>BUZEINS</i>	<i>AVEYRON</i>
<i>Source des Courtinaux</i>	<i>CAMPAGNAC</i>	<i>AVEYRON</i>
<i>Source de la Serre</i>	<i>CAMPAGNAC</i>	<i>AVEYRON</i>
<i>Source du Duc</i>	<i>CAMPAGNAC</i>	<i>AVEYRON</i>
<i>Source de Tantayrou</i>	<i>LAPANOUSE</i>	<i>AVEYRON</i>
<i>Source des Soucis</i>	<i>LES VIGNES</i>	<i>LOZERE</i>
<i>Source du Mas de Lafon</i>	<i>MOSTUEJOULS</i>	<i>AVEYRON</i>
<i>Résurgence de la Verlenque</i>	<i>SEVERAC-LE-CHATEAU</i>	<i>AVEYRON</i>
<i>Source d'Esparse</i>	<i>VIMENET</i>	<i>AVEYRON</i>

3^{ème} catégorie : les sources concernées ont fait l'objet de mesures de débits ponctuels à partir de jaugeages, mesures au saut gradué ou dans un canal venturi mobile. 2 mesures ont été réalisées durant les cycles hydrologiques étudiés

1^{er} catégorie : Afin d'effectuer au mieux ces mesures, le Parc Naturel Régional des Grands Causses a fait construire, sur chacune des sources que nous étudions, des seuils (cf. figure 4) dans le but de calibrer les mesures limnigraphiques en évitant le plus possible les phénomènes de non linéarités. Sur ces sites, des limnimètres et des limnigraphes à flotteur (cf. figure 2) ont été implantés pour suivre les variations du niveau d'eau au pas de temps semi horaire.

Le limnigraphe à flotteur est un appareil qui maintient un flotteur à la surface de l'eau grâce à un contre poids, par l'intermédiaire d'un câble et d'une poulie. Le flotteur suit ainsi les fluctuations du niveau de l'eau, qui sont reportées sur un graphique solidaire d'un tambour tournant à vitesse constante. L'inconvénient de ce système est qu'il faut régulièrement changer le papier. Pour palier à ce problème, nos stations sont aussi équipées de limnigraphes

électroniques, dont le système reste inchangé, mais les données sont numérisées et enregistrées (cf. figure 3). Les définitions sont de l'ordre de 5 mm.



Figure 1 : Plaque posée sur chaque tube abritant un limnigraphe du Parc Naturel Régional des Grands Causses

Figure 2 : Schéma d'un limnigraphe « Richard »

- 1) flotteur
- 2) poulies
- 3) stylet encre
- 4) tambour tournant sur lui-même

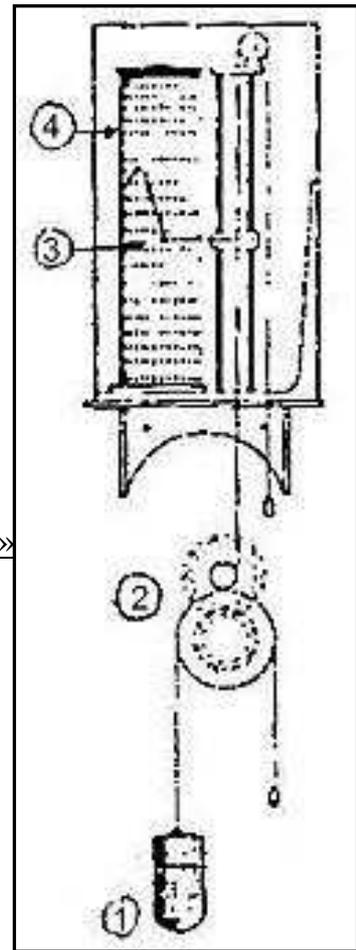


Figure 3 : Capteur d'un limnigraphe électronique



Figure 4 : Seuil de la source de Bastide (coordonnée : $x = 658765,99883$, $y = 1922624,15535$)

2.3.1.2 Poste météorologique

Afin d'évaluer la superficie des bassins hydrogéologiques et connaître le fonctionnement des aquifères, un poste météorologique a été installé sur la zone d'étude. Ce poste enregistre la pluviométrie, la température et la pression.

2.3.1.3 Préleveurs automatiques

L'acquisition de préleveurs a été nécessaire pour la réalisation des multi-tracages, ainsi que du colorant fluorescent.

2.3.2 Suivis

2.3.2.1 Suivi hydrochimique

Le suivi hydrochimique s'est effectué mensuellement sur les stations de catégories 1 et 2 (18 stations) et 2 fois pour les stations de catégorie 3 :

- 1 campagne en étiage : juin 2003 ;
- 1 campagne en moyenne eaux : mai et juin 2004.

2.3.2.2 Suivi hydrodynamique

Il concerne la gestion des stations de catégories 1, 2 et 3 sur une période d'environ 35 mois sur les 12 mois prévus. Ceci a permis d'intégrer deux cycles hydrologiques (cf. tableau synoptique suivant).

2.3.2.3 Suivi des traçages

Une trentaine de traçages ont été réalisés.

La réalisation du traçage concerne :

- l'injection du traceur avec apport ou non d'un volume d'eau (plusieurs dizaines de m³);
- la mise en place des préleveurs aux sorties potentielles;
- la recherche des traceurs par spectrofluorimétrie.

2.3.2.4 Suivi météorologique

La récupération des données de la station météorologique (pluviométrie, température et pression) a été effectuée tous les deux mois.

2.4 Le cadre géographique

L'ensemble karstique des Grands Causses (Causse Majeurs) se développe dans la partie méridionale du Massif Central, plus précisément au nord de la plaine languedocienne. Il s'étend sur les départements de l'Aveyron, de la Lozère, du Gard et de l'Hérault.

Cette zone est caractérisée par de grandes étendues tabulaires entaillées par d'étroites vallées accidentées et creusées par le Tarn, la Jonte et la Dourbie. Ces rivières isolent, du Nord au Sud, les quatre unités principales que sont le Causse Sauveterre, le Causse Méjean, le Causse Noir et le Causse du Larzac.

Le Causse de Sauveterre proprement dit (qui signifie 'terre sauvage') est cerné, au nord par la vallée du Lot, profonde de 200 à 400 m, et au Sud, par les Gorges du Tarn qu'il domine de 500 m sur 60 km. Il constitue un vaste croissant pointé vers le sud, d'une étendue d'environ 60 km², ce qui lui vaut la deuxième place de part sa superficie derrière le Causse du Larzac.

Il peut être subdivisé en trois grandes zones.

A l'**Est**, le '**Causse pelé**' présentant des horizons, dont les sommets peuvent atteindre parfois les 1 100 m d'altitude, dénudés, désertiques, pierreux avec de temps en temps quelques plantations récentes de pins.

Au **Centre**, le '**Causse boisé**' présente un relief plus accidenté, hérissé de sommets, oscillant entre 780 et 1 000 m d'altitude, pointus ou arrondis entrecoupés de vallées sèches, larges ou étroites, anciennement creusées par des affluents du Lot et du Tarn.

Et enfin au **Sud Ouest**, le Causse dit de '**Massegros**', qui culmine à une altitude moyenne de 850 m, présente une végétation assez variée et des rochers ruiniformes surplombant le Tarn. Celui-ci est de façon générale plus aplanie que le causse boisé.

Accoudé à l'Ouest du Causse Sauveterre, le Causse de Séverac (800 m) est entaillé par la Haute Vallée de l'Aveyron et la Vallée de la Serre. Il présente des plateaux calcaires morcelés en une série de buttes témoins séparées par de larges dépressions.

2.5 Contexte climatique

Une étude hydrogéologique ne peut être menée sans la connaissance locale du climat et de ses caractéristiques. En effet, la quantité d'eau qui participe à la recharge de l'aquifère est fonction de la hauteur des précipitations annuelles, de l'évapotranspiration et du ruissellement.

2.5.1 Généralités

De façon générale, les Grands Causses sont soumis à un climat présentant des variations Nord-Sud et Est-Ouest où se mêlent les influences océaniques (Atlantique), méditerranéennes et continentales. Les perturbations océaniques se condensent en pluie sur les versants nord (Causse de Sauveterre), et redescendent sèches vers la méditerranée (effet de fœhn). Elles apportent des hivers modérés et l'essentiel des précipitations, contrairement aux dépressions méditerranéennes qui elles, amènent plutôt de fortes chaleurs estivales, des automnes ensoleillés, et quelques grosses pluies sur les versants sud (Larzac ...).

L'altitude et la situation des Causses de Sauveterre et de Sévérac permettent de les classer dans un domaine sub-atlantique avec, pour les parties les plus élevées, des tendances montagnardes (précipitation solide en période froide et liquide en période chaude), les influences méditerranéennes ne concernant principalement que les Causses du Larzac. Cette mosaïque de microclimats va jouer un rôle important d'un point de vue hydrogéologique sur les régimes d'écoulements en fonction des saisons.

2.5.2 Précipitations

Pour une période considérée, la pluviométrie moyenne annuelle est caractérisée par une valeur chiffrée : le module pluviométrique moyen annuel. Plus le nombre d'années pris en compte est élevé, plus cette valeur va tendre à se stabiliser.

Sur la dernière décennie, le module pluviométrique moyen annuel calculé est de 927 mm pour la station du Massegros (souvent compris entre 950 mm et 1 000 mm). Les précipitations maximales se produisent à l'automne (septembre - octobre - novembre) ainsi qu'au printemps (avril - mai - juin). Les minimums concernent les mois de juillet et d'août avec deux minimums secondaires durant la période hivernale, de décembre à mars. Le régime pluviométrique des Grands Causses est donc caractérisé par de fortes pluies au printemps (influence océanique) avec un étiage marqué en été et des crues brutales, en automne, indiquant là, une influence du régime méditerranéen.

La mise en place d'un poste météorologique à Sévérac-le-Château a permis l'acquisition de plus de 2 ans de mesures au pas de la ½ heure (cf. graphique joint).

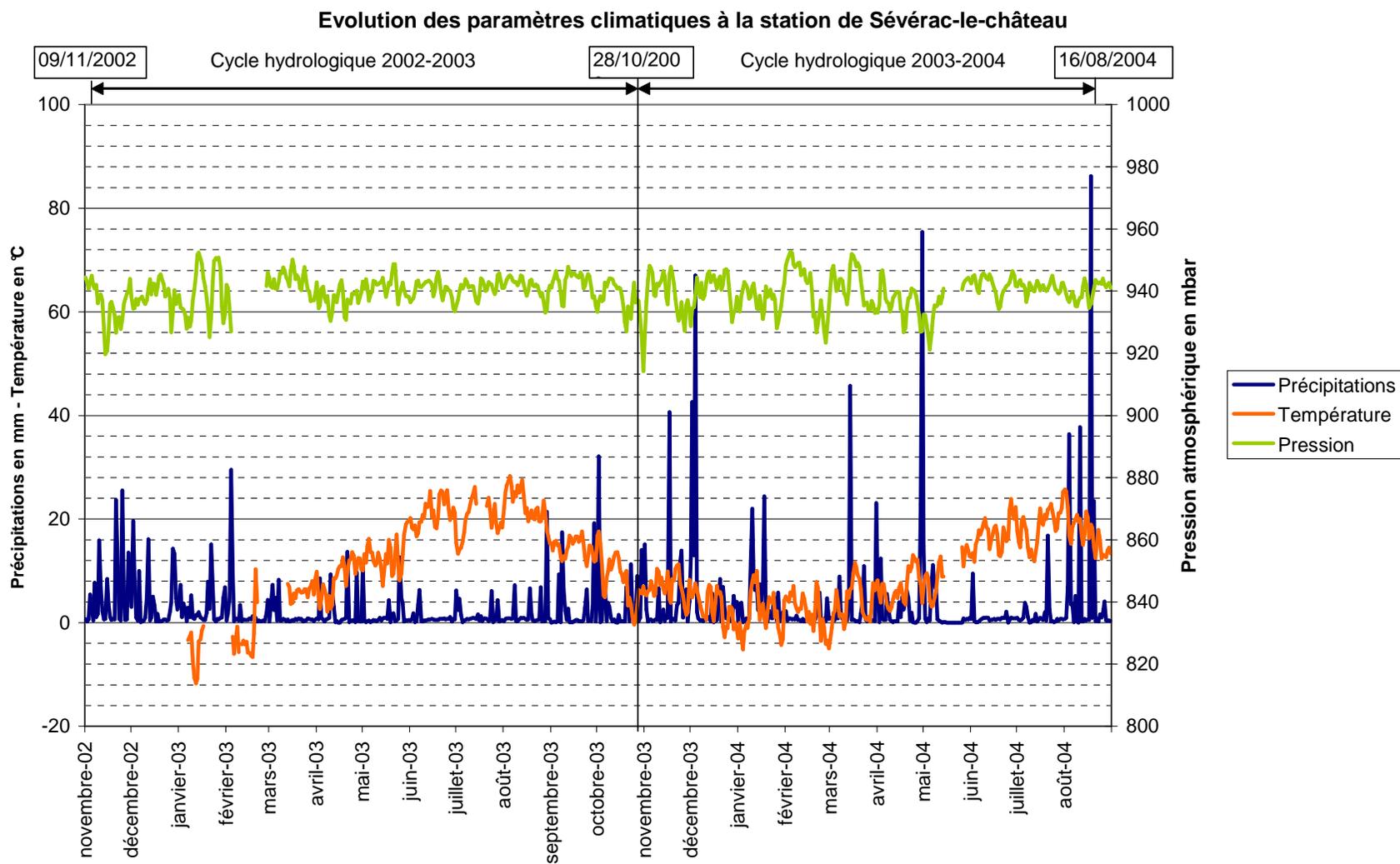


Figure 5 : Evolution des précipitations, de la température et de la pression (poste PNRGC)

Les précipitations moyennes, minimales et maximales sur le cycle hydrologique 2002-2003 et 2003-2004 sont indiquées dans le tableau ci-joint. La moyenne journalière pour la période est de 928.2 mm.

Cycle Hydrologique 2002-2003			
Station	Précipitation (mm)	Température (°C)	Pression (mbar)
Moyenne journalière annuelle	2.416	12.708	939.943
Minimum journalier annuel	0.000	-11.700	919.696
Maximum journalier annuel	32.100	28.300	952.400
Précipitations annuelles	854.500		

Cycle Hydrologique 2003-2004			
Station	Précipitation (mm)	Température (°C)	Pression (mbar)
Moyenne journalière annuelle	3.419	8.358	939.404
Minimum journalier annuel	0.000	-5.194	914.300
Maximum journalier annuel	75.400	25.733	952.660
Précipitations annuelles	1001.900		

Valeurs moyennes pour les deux cycles hydrologiques			
Station	Précipitation (mm)	Température (°C)	Pression (mbar)
Moyenne journalière annuelle	2.869	10.395	939.687
Minimum journalier annuel	0.000	-11.700	914.300
Maximum journalier annuel	75.400	28.300	952.660
Moyenne des précipitations annuelles	928.200		

2.5.3 Températures de l'air

La température est aussi un paramètre très important car du point de vue hydrogéologique, elle contrôle quelques phénomènes tels que :

- la nature des précipitations (liquide ou solide),
- l'intensité de l'évaporation et de la transpiration des plantes (évapotranspiration),
- et enfin peut jouer un rôle sur la fonte des neiges pour les plus hauts sommets soumis au climat montagnard.

Ces éléments convergent dans le même sens, et vont au final influencer l'infiltration de l'eau dans la zone non-saturée et la zone épikarstique en la retenant sous forme de neige ou en l'évaporant directement vers l'atmosphère.

La température moyenne mesurée sur la période 2002-2003-2004 au niveau du poste de Sévérac est d'environ 10.4 °C (cf. tableau).

Les températures moyennes annuelles mesurées à la station du Massegros montrent une différence non négligeable entre Millau dont la valeur est de 9,9 °C sur la période de 1967-1972 contre 8,5 pour le Massegros sur cette même période. Cette différence peut s'expliquer par le gradient altimétrique de l'air puisque Millau se trouve en plaine contrairement à la station de mesure mais aussi par une différenciation climatique fonction de l'orientation.

La saison chaude s'étend de juin à septembre, le maximum de chaleur étant enregistré en juillet avec près de 25 °C (notons aussi que les amplitudes thermiques journalières atteignent 16 °C), alors que la saison froide est plutôt marquée pendant les mois de décembre, janvier et février.

2.5.4 Pression de l'air

La pression moyenne mesurée sur le poste de Sévérac pour la période 2002-2003-2004 est de 939.7 mbar.

Ce paramètre peut influencer le débit des sources dont l'origine des eaux est profonde (semi-captivité).

2.5.5 Vents

Le vent est un autre paramètre très important pour l'évapotranspiration, car il permet le renouvellement des masses d'air, pouvant favoriser l'évaporation si celles-ci sont sèches. Il souffle une grande partie de l'année et se rattache à trois types principaux :

- les vents continentaux qui soufflent du Nord/Nord-est sont des vents froids et secs. Ils peuvent être violents et fréquents sur les plateaux et dans les garrigues (mistral), ils amènent le beau temps mais accroissent la sécheresse. Ils soufflent en toute saison mais principalement d'octobre en avril ;
- les vents océaniques, qui soufflent de l'Ouest/Nord-Ouest, perdent leur humidité en s'approchant de l'Est/Sud-Est. Le vent du Nord-Ouest amène des giboulées au printemps et des averses froides en été. Le vent d'Ouest, doux en hivers, frais en été, domine dans la partie occidentale des Grands Causses ;
- et enfin, les vents méditerranéens, qui soufflent du Sud et du Sud-Est, sont humides et chauds. Ils sont souvent violents, provoquent des orages diluviens en fin d'été, au début de l'automne et amènent les premières chutes de neiges au début de l'hiver. Leurs effets s'atténuent en allant vers le Nord et le Nord-Ouest des Grands Causses.

2.5.6 Les indices climatologiques

➤ Le facteur de pluie de Lang (Rouquet, 1976)

Cet indice climatologique fait intervenir les moyennes annuelles de la température de l'air (T) et des précipitations (P).

Facteur de pluie de Lang (Regenfaktor) : $F_p = P / T$
--

D'après Lang, les valeurs comprises entre 40 et 160 correspondent à un climat sub-humide. Notre zone entre dans cette classification puisqu'elle présente une valeur de 108, au vu des données de références (1983 – 1993).

➤ L'évapotranspiration

L'évapotranspiration réelle représente la quantité d'eau soustraite du sol par simple évaporation, ainsi que par la transpiration des végétaux. Pour un système karstique donné, il peut être établi un bilan hydrologique sur une période de temps déterminée. Il s'agit de la mise en équation des entrées et des sorties d'eau.

$$P = Etr + Rs \pm VR + Ie$$

avec

P = précipitations
Etr = évapotranspiration réelle
Rs = ruissellement superficiel
VR = variation des réserves (sol, zone non-saturée, nappe)
Ie = infiltration efficace

Les Grands Causses peuvent être considérés comme une région très aride malgré leur situation géographique et les précipitations abondantes qu'ils reçoivent. Cette aridité, qui induit un ruissellement superficiel presque nul, est la conséquence de la capacité des calcaires à absorber rapidement les eaux de pluies. Celles-ci vont renouveler les stocks d'eau souterraine et entretenir le débit de l'écoulement souterrain.

A l'échelle pluriannuelle, la variation des réserves peut être négligée. L'équation du bilan hydrologique s'écrit alors :

$$P = Etr + Ie$$

L'absence de sol ou sa faible épaisseur réduit encore les possibilités de rétention d'eau dans les zones superficielles tandis que la rareté relative de flore limite les possibilités d'échanges hydriques avec l'atmosphère.

Une grande partie de l'eau des pluies va ainsi échapper à l'évaporation et à la transpiration. Les coefficients d'infiltrations dans cette région sont donc assez élevés et varient de 435 mm (calculée par L. Rouquet en 1976) pour la partie médiane des Grands Causses à 535 mm pour la bordure orientale des Grands Causses. Dans les régions les plus arides, ce coefficient pourrait dépasser les 760 mm. Toutefois sur les zones dolomitiques, le coefficient d'infiltration diminue légèrement aussi bien sur les parties massives que sur les produits d'altération. Des lacs temporaires attestent que les eaux peuvent y séjourner, autorisant alors une éventuelle reprise évaporatoire.

2.5.7 Conclusion

Ces informations nous permettent d'esquisser schématiquement le régime de l'aquifère en différenciant quatre périodes :

- Périodes de forte mise en charge du karst à l'automne et au printemps engendrant des crues à l'exutoire,
- Séparées par un étiage hivernal prononcé et un étiage estival.

2.6 Qu'est-ce qu'un aquifère karstique ?

Imaginez un grand massif calcaire fracturé, fissuré, troué, dans lequel l'eau circule. Peu à peu, elle va user, ronger et dissoudre la roche. Il en résultera une érosion mécanique et chimique qui donnera naissance à un réseau complexe formé de cavités, de grottes, de drains et de rivières souterraines. Cette eau peut resurgir, selon la configuration souterraine, en quelques heures ou en plusieurs années, dans une vallée au niveau d'une source que l'on appelle exurgence.

L'origine du mot karst provient d'une région yougoslave du nord-est de l'Adriatique (Slovénie) connues pour l'importance et la diversité de ces formations calcaires.

Le karst, comment ça marche ?

Le karst, c'est une structure dans laquelle on distingue trois grandes parties (cf. figure 6) :

- **une zone d'alimentation** dont le périmètre est limité dans l'espace. On parle de bassin d'alimentation des sources qui constitue la zone de référence pour établir les périmètres de protection des captages des sources pour l'alimentation en eau potable. On y trouve des figures d'érosion générées par l'eau et le vent, tels que les reliefs ruiniformes et les champs de lapiaz.
- **une zone d'infiltration** des eaux dans la roche calcaire. Le passage des eaux de précipitation peut être rapide ou retardé. L'infiltration rapide s'effectue au niveau des pertes, des avens et des dolines.
- enfin, **le karst noyé**, où l'on trouve à la fois les rivières souterraines mais aussi les grands réservoirs souterrains qui alimentent les rivières et permettent de garder une stabilité du débit de ces rivières lors de la période estivale.

Etiage et crue, aux deux extrêmes

Les résurgences karstiques ont une variabilité de leur débit importante. En effet, en étiage, en général lors de la période estivale, les débits sont bas, de l'ordre de quelques litres par seconde. En revanche, en crue, en hiver et au printemps, les débits se chiffrent en mètres cubes par seconde.

Prenons par exemple, la source de l'Espérelle (exurgence karstique du Larzac qui alimente la Dourbie puis le Tarn) : son débit d'étiage est d'une centaine de litres par seconde et son débit maximal de crue mesuré atteint 24 mètres cubes par seconde, soit 240 fois son débit d'étiage.

L'eau pure des causses

Lors de son départ vers le milieu souterrain, l'eau qui provient des précipitations est peu minéralisée. Ce n'est qu'au contact des formations géologiques secondaires, principalement calcaires, que l'eau va acquérir les minéraux essentiels à la vie (calcium et magnésium notamment).

Le karst, largement présent sur le territoire du Parc

Le karst se développe dans la région des Grands Causses et dans la région des Avant Causses, ce qui représente plus de 50 % du territoire du Parc naturel régional des Grands Causses. L'âge des formations calcaires varie entre 150 et 205 millions d'années.

Le Causse du Larzac est le plus important des Grands Causses. Ses autres petits frères sont le Causse Noir et le Causse de Sauveterre. Ils sont séparés par des rivières qui ont formé des canyons imposants : Gorges de la Dourbie, Gorges de la Jonte et Gorges du Tarn.

Le Causse Rouge et le Causse de Saint-Affrique forment les principaux Avant Causses.

Au niveau régional, les territoires karstiques sont nombreux. Ils correspondent au plus important domaine en France, composé des Causses du Quercy (lot et Tarn-et-Garonne), de la région des Grands Causses (Aveyron) et du domaine pyrénéen (Ariège, Haute-Garonne et Hautes-Pyrénées). Ce domaine karstique représente une superficie de 15 000 km² environ, soit plus du tiers de la surface et plus de la moitié des ressources en eaux souterraines de la région Midi-Pyrénées.

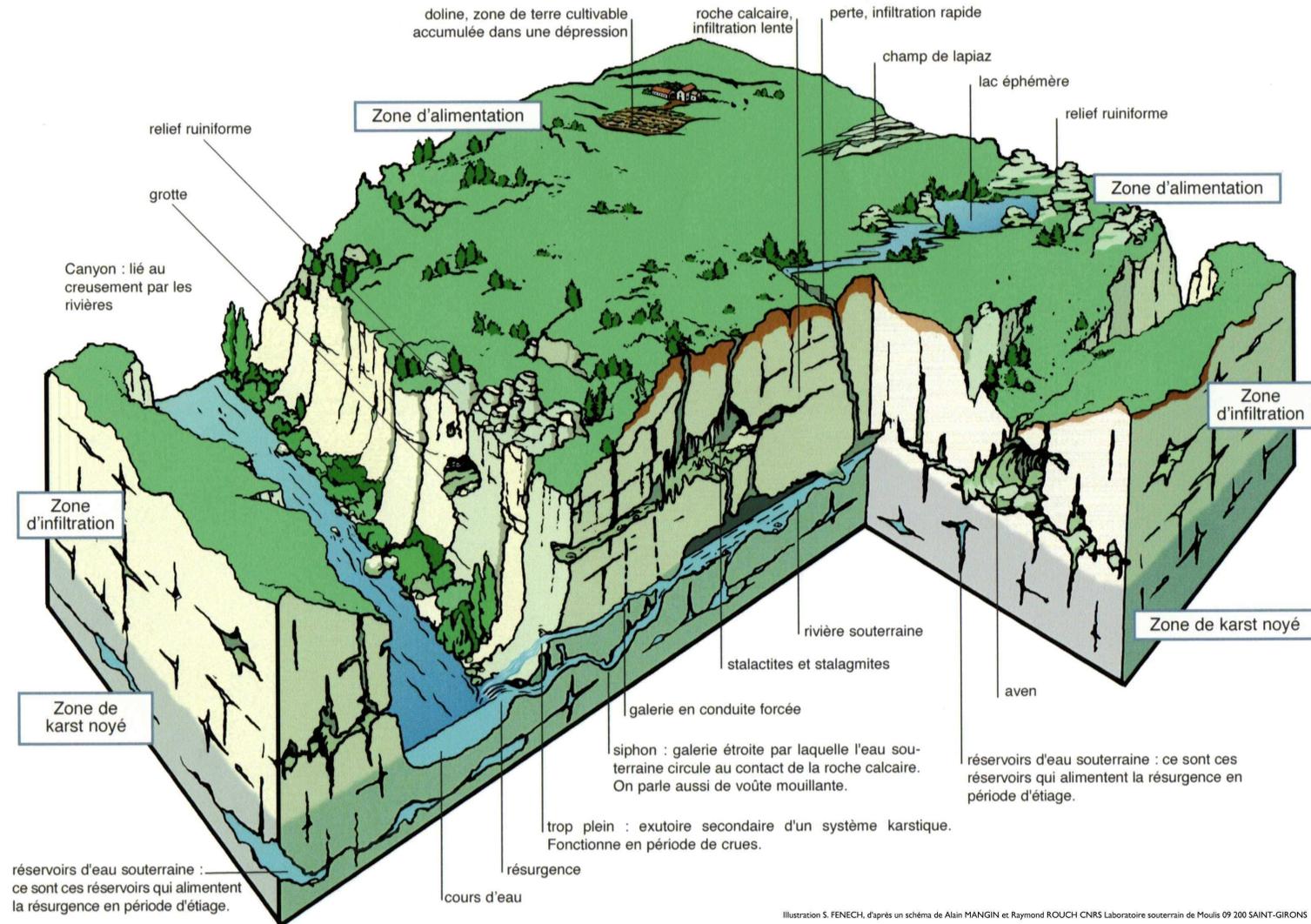


Figure 6 : Représentation schématique du karst au niveau des Grands Causse

2.7 Les aquifères concernés

Notre zone d'étude, d'une superficie de 400 km², comprend le Causse de Séverac dans sa totalité, et une partie du Causse Sauveterre. Ses limites géographiques sont respectivement :

- au Nord, la vallée du Lot et de la Serre,
- au Nord-est, une limite mal définie entre Roquaizou et Saint Georges de Lévéjac,
- à l'Est, les gorges du Tarn,
- au Sud - Sud/Ouest, la vallée partant de Boyne, rejoignant Séverac-le-château.
- et enfin, à l'Ouest, les limites naturelle du Causse Séverac.

Ce système karstique est typique des milieux calcaires, avec des apports directs uniquement par les pluies à la surface des sols (système unaire, cf. § 3.1.4) auxquels s'ajoutent des limites à potentiel (ou niveau de base) représentées par le Lot et le Tarn. Les eaux sont ensuite drainées vers les nombreuses résurgences (liste fournie dans la partie infrastructure) en bordure de la zone d'étude.

2.7.1 Les aquifères

La coupe hydrogéologique (cf. figure 7) des Grands Causses montre deux séries aquifères, une supérieure et l'autre inférieure, séparées par les marnes du Lias. L'unité inférieure repose par l'intermédiaire du Trias sur le substratum granitique et schisteux réputé imperméable.

➤ **L'aquifère inférieur**

La série aquifère inférieure correspond aux formations calcaires et dolomitiques du Lias (Héttangien-Sinémurien). Le mur est constitué par le Trias supérieur marneux ou conglomératique. En absence de celui-ci, les calcaires reposent directement sur le socle cristallin et métamorphique ou sur les formations argilitiques et gréseuses du Permien. Le toit est représenté par les marnes feuilletées bleues ou grises du Domérien et Toarcien.

Elles affleurent au nord, le long des vallées du Lot et de la Serre, et au centre tout le long de la rive droite de l'Aveyron. Quatre des sources étudiées sortent de cet aquifère : Buzareingues, Tantayrou, Mayrinhac et les Courtinaux.

➤ **Le niveau imperméable (marnes supraliasiques)**

L'épaisseur des séries marneuses est très grande vers la confluence Tarn et Jonte (~ 250 m). Sur le Causse de Sauveterre, elle se réduit sur les bordures Nord-Est et vers l'Est, il n'est donc pas impossible qu'elle varie de même sur le Causse de Séverac. Ces variations

d'épaisseurs peuvent être dues au rejeu des fractures provoquant localement un amincissement voir une disparition totale du toit marneux. Ceci pourrait alors engendrer une communication entre les deux aquifères. Des expériences de traçage, en cours de réalisation, permettraient d'étayer ou de rejeter cette hypothèse.

➤ L'aquifère supérieur

Cette série correspond aux formations calcaires et dolomitiques de l'Aalénien (marno-calcaires, calcaires en gros bancs, et dolomies cristallines rose-roucat) au Bajocien, Bathonien (dolomies grises), Callovien, Oxfordien, Kimméridgien et Portlandien. Par la suite, l'émersion des Causses ayant été définitive, on ne note aucun terme crétacé ou tertiaire et aucune couverture autre que les éboulis de versants, alluvions, épandages de cailloutis quartzeux et argiles rouges résiduelles. La série est représentée par une grande aire d'alimentation correspondant au plateau calcaire et dolomitique dans lequel se développent de nombreux avens et réseaux souterrains.

Son drainage est assuré par des émergences localisées au contact des marnes (karst perché) et en bordure du Tarn (cf. figure 7).

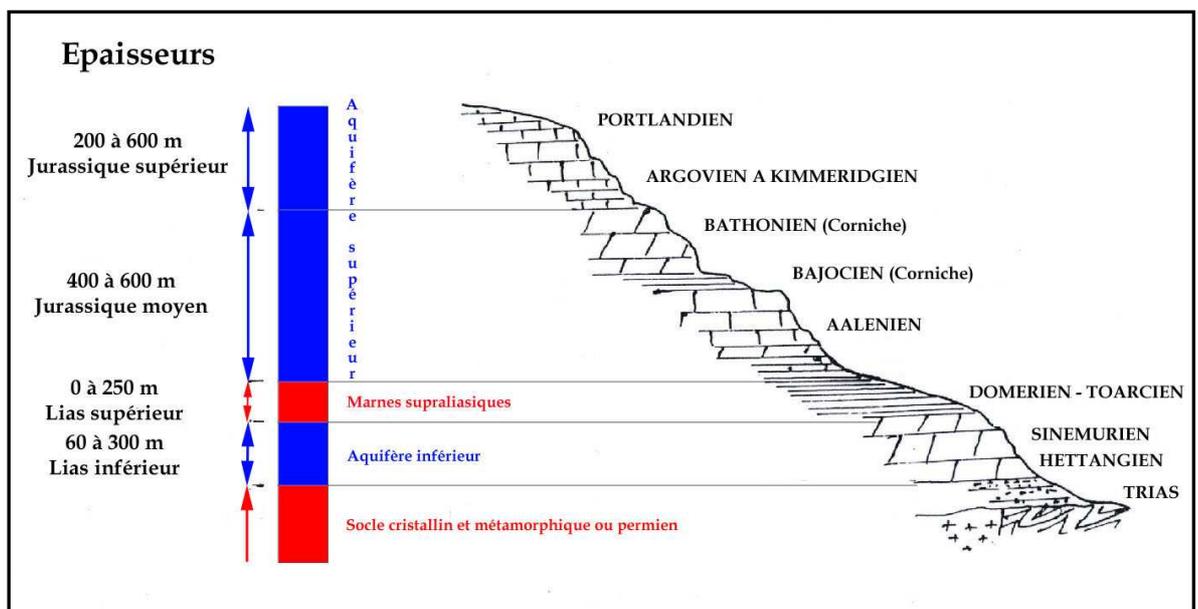


Figure 7 : Coupe hydrogéologique typique des Grands Causses

2.7.2 Le réseau hydrographique

Toutes les eaux de surface de la région des Grands Causses appartiennent au bassin versant atlantique. Sur notre zone d'étude nous distinguons trois axes principaux de drainage :

- le Lot au Nord,
- le Tarn à l'Est,
- et l'Aveyron au Sud-ouest qui draine le Cuge et la Serre.

Sur ces trois cours d'eau, dont le profil est présenté figure 8, seul l'Aveyron prend naissance sur les formations calcaires (vers Cayrac). Le Tarn et le Lot ont déjà circulé sur le socle avant d'atteindre les domaines calcaires (cours d'eau allogènes). Les différents types de sols, sur lesquels évoluent les cours d'eau, sont à l'origine d'une morphologie particulière, expliquant ainsi les variations de pentes d'un cours d'eau à un autre. Par exemple :

- dans les régions de socle, le réseau est très dense et très anastomosé. La pente des versants est souvent forte (> 50 %) ;
- au contraire, dans les régions de grands affleurements calcaires, le réseau est assimilé à une rivière encaissée dans une vallée profonde. Cette morphologie en « gorges étroites » peut entraîner des crues spectaculaires comme en septembre 1900 sur le Tarn avec près de 32 ponts détruits.

En dehors de ces trois axes de drainage, les écoulements superficiels sont nuls ou temporaires. En effet, sur le plateau, les eaux se rassemblent momentanément dans un grand nombre de dépressions fermées (dolines, poljés, vallées sèches, etc.) avant de s'infiltrer pour rejoindre le karst noyé, et ressortir par les différentes émergences. Celles-ci sont ensuite drainées par le Lot, le Tarn et l'Aveyron.

- ❖ L'Aveyron, dont les sources sont situées aux alentours de Cayrac, reçoit d'une part les eaux du Cuge, drainant *Mayrinhac* et *Esparses*, d'autre part, les eaux de la Serre, drainant les *sources de la Serre, Duc, et Lestang*. Les sources de *la Verlenque, Bastide, Cayrac, Tantayrou, Ségala, et Buzareingues*, sont elles drainées directement par l'Aveyron.
- ❖ Le Lot draine la source des *Courtinaux* et celle de *Roquaizou*.
- ❖ Et enfin le Tarn draine toutes les autres sources étudiées à l'Est de notre zone d'étude à savoir : *Fontmaure, Beldoire, Rouveyrol* et la source du *Mas de Lafon*.

Le Tarn, l'Aveyron et le Lot ont déjà fait l'objet d'études par la DDE (Direction Départementale de l'Équipement), EDF (Electricité de France) à plusieurs reprises. Toutes les trois montrent des régimes hydrologiques caractérisés par une grande irrégularité. Celle-ci reflète l'irrégularité des pluies, avec deux périodes de crues, au début du printemps et en automne, séparées par une longue période de tarissement en été et en hiver. En outre, il a été montré que les dolomies ont une influence régulatrice entre les hautes et basses eaux, puisque les périodes d'étiage pour le Tarn sont situées en août, septembre alors que le minimum pluviométrique est en juillet.

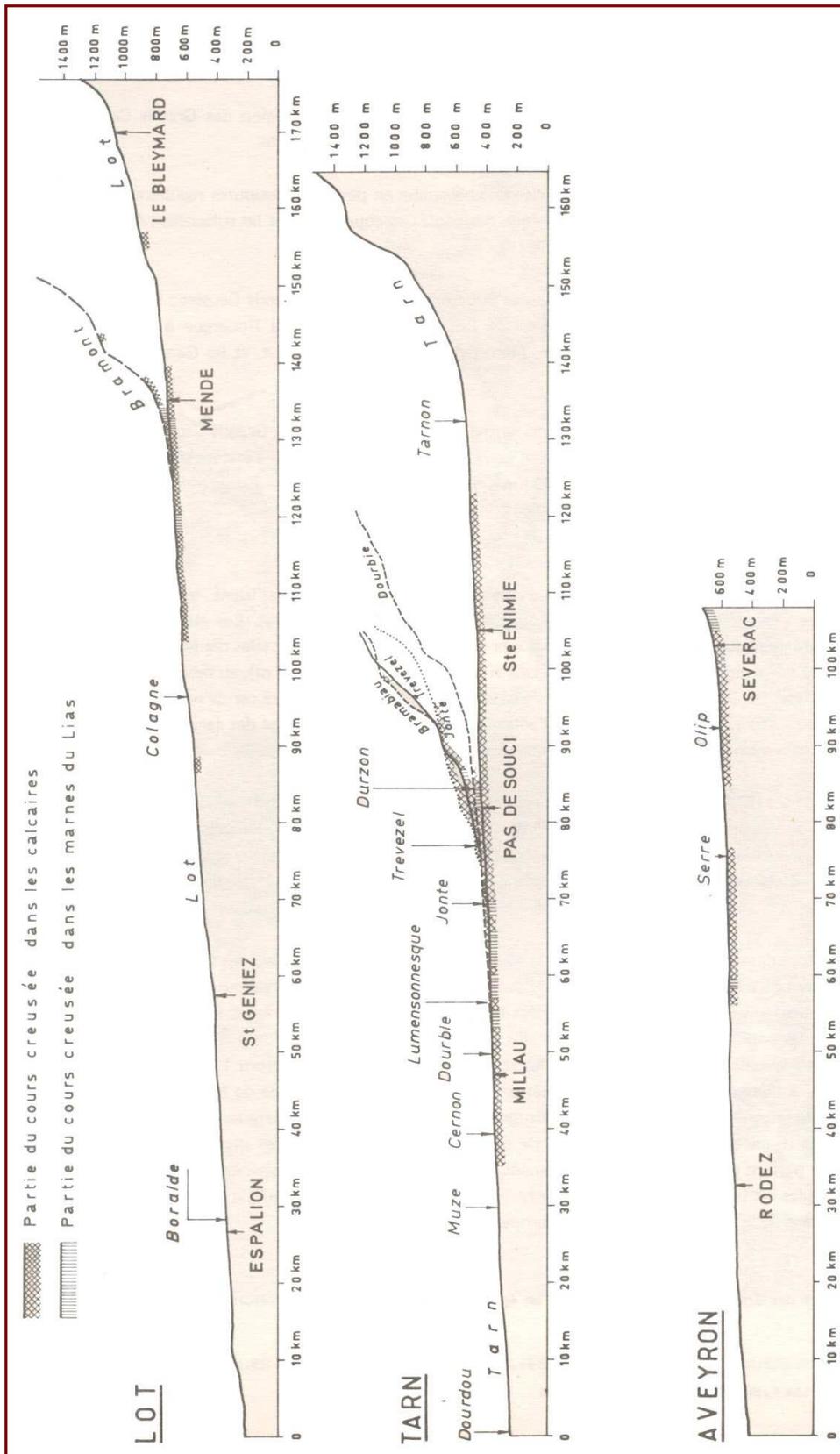


Figure 8 : Profils en long des principaux cours d'eau (d'après Paloc, 1972)

Les axes d'écoulements jouent le rôle d'axes de drainage mais aussi de niveau de base. Les altitudes de surface de ces rivières d'amont en aval sont répertoriées dans le tableau ci-contre.

<i>Axe de drainage</i>	<i>Amont</i>	<i>Milieu</i>	<i>Aval</i>
Aveyron	710 m Cayrac	676 m Sévérac	
Lot	805 m Ste Hélène 710 m Mende	632 m Chanac	518 m Banassac
Tarn	545 m Florac 518 m Ispagnac	470 m Ste Enimie 420 m Les Vignes	395 m Le Rozier

(Berard, 1987)

Ce tableau montre que le niveau de base du Tarn est près de 200 m plus bas que ceux de l'Aveyron et du Lot sur la zone centrale d'étude. Cette différence, certainement due à un enfoncement plus rapide du Tarn, va avoir une incidence sur les écoulements à l'intérieur du karst. Elle va induire logiquement de plus grandes surfaces d'écoulements souterrains au détriment des bassins souterrains des autres cours d'eau. Pour valider cette hypothèse, la meilleure solution reste les traçages réalisés par M. Lepiller.

3 DETERMINATION DES BASSINS D'ALIMENTATION

3.1 Détermination des bassins hydrographiques et des bassins de drainage

3.1.1 Bassin de drainage

Les bassins de drainage ont été déterminés par modélisation du MNT selon la méthode « down-dip ». Cette méthode permet, à partir de la grille MNT échantillonnée à 30%, de simuler le trajet des particules qui s'effectue le long de la ligne de plus grande pente. Ceci permet de générer des bassins de drainage.

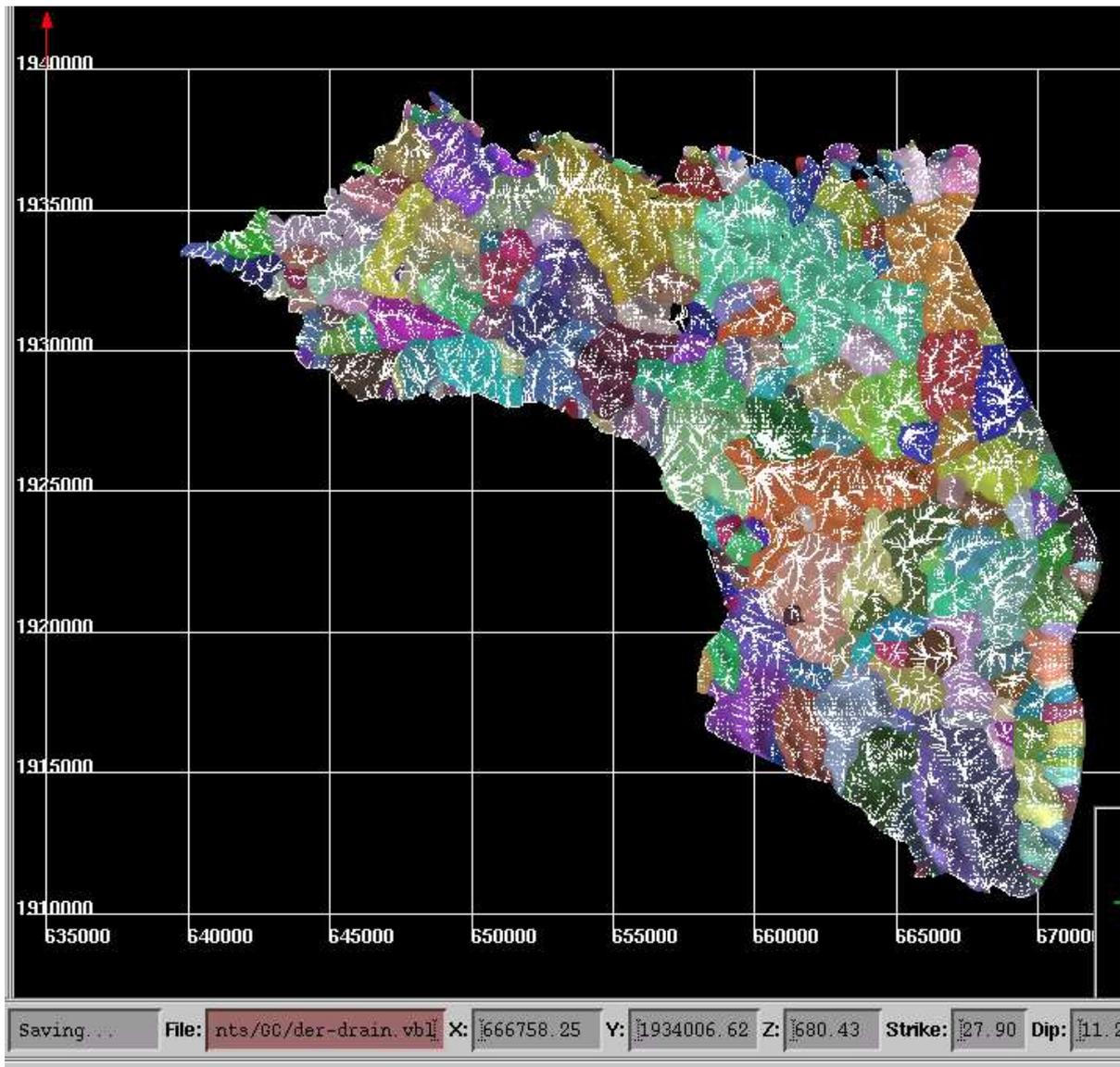


Figure 9 : Résultat de la modélisation "down-dip". Les couleurs déterminent les différents bassins de drainage. Les lignes blanches correspondent à l'écoulement simulé.

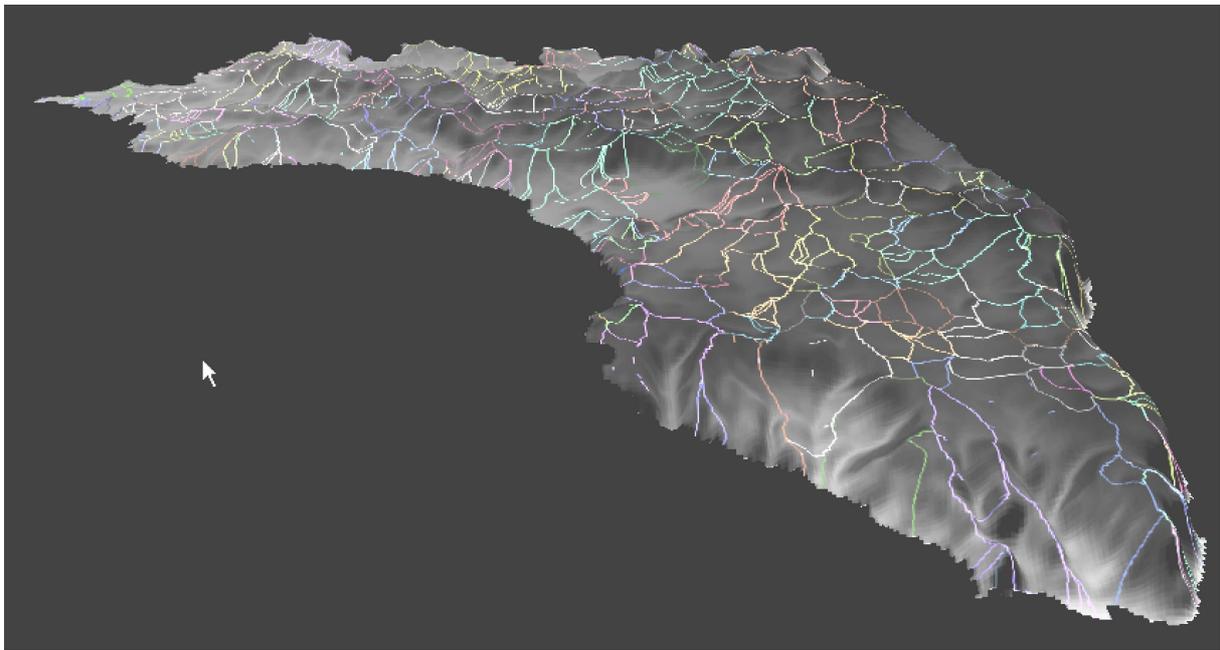


Figure 10 : Limites des sous-bassins de drainage drapées sur le MNT. Les couleurs sont identiques à celles de la modélisation.

3.1.2 Bassin hydrographique ou topographique

Une autre méthode de détermination des bassins a été utilisée afin de définir de grands bassins hydrographiques. C'est le logiciel HYDROKIT qui utilise également le MNT de terrain qui a permis de définir ces bassins (cf. carte suivante).

Deux constats peuvent être déclinés :

- On s'aperçoit qu'il existe d'importants bassins topographiques à l'Est et au centre de l'étude. Deux grands bassins, celui de la Serre et celui de Cayrac ne sont pas en adéquation avec les débits mesurés à la source. Les bassins hydrogéologiques sont nettement moins grands en superficie. On voit déjà ici le rôle du Tarn en tant qu'attracteur des écoulements liés à l'abaissement de son niveau de base ;
- Au niveau du Causse de Sévérac, les bassins topographiques peuvent à priori, correspondre en superficie et en limite aux bassins hydrogéologiques. Les débits moyens sur la période considérée sont corrélés aux superficies des bassins topographiques. L'observation de la morphologie d'ensemble du secteur étudié fait ressortir une différence flagrante : au causse de Masegros où les vallons karstiques sont mal exprimés et désorganisés par le soutirage karstique s'oppose le causse de Sévérac, où ces formes sont bien exprimées et très bien préservées (cf. également paragraphe sur : Les vallons fluvio-karstiques du Causse de Sévérac).

La détermination des bassins hydrogéologiques doit donc prendre en compte les bassins topographiques et les bassins de drainage dans certaines conditions.

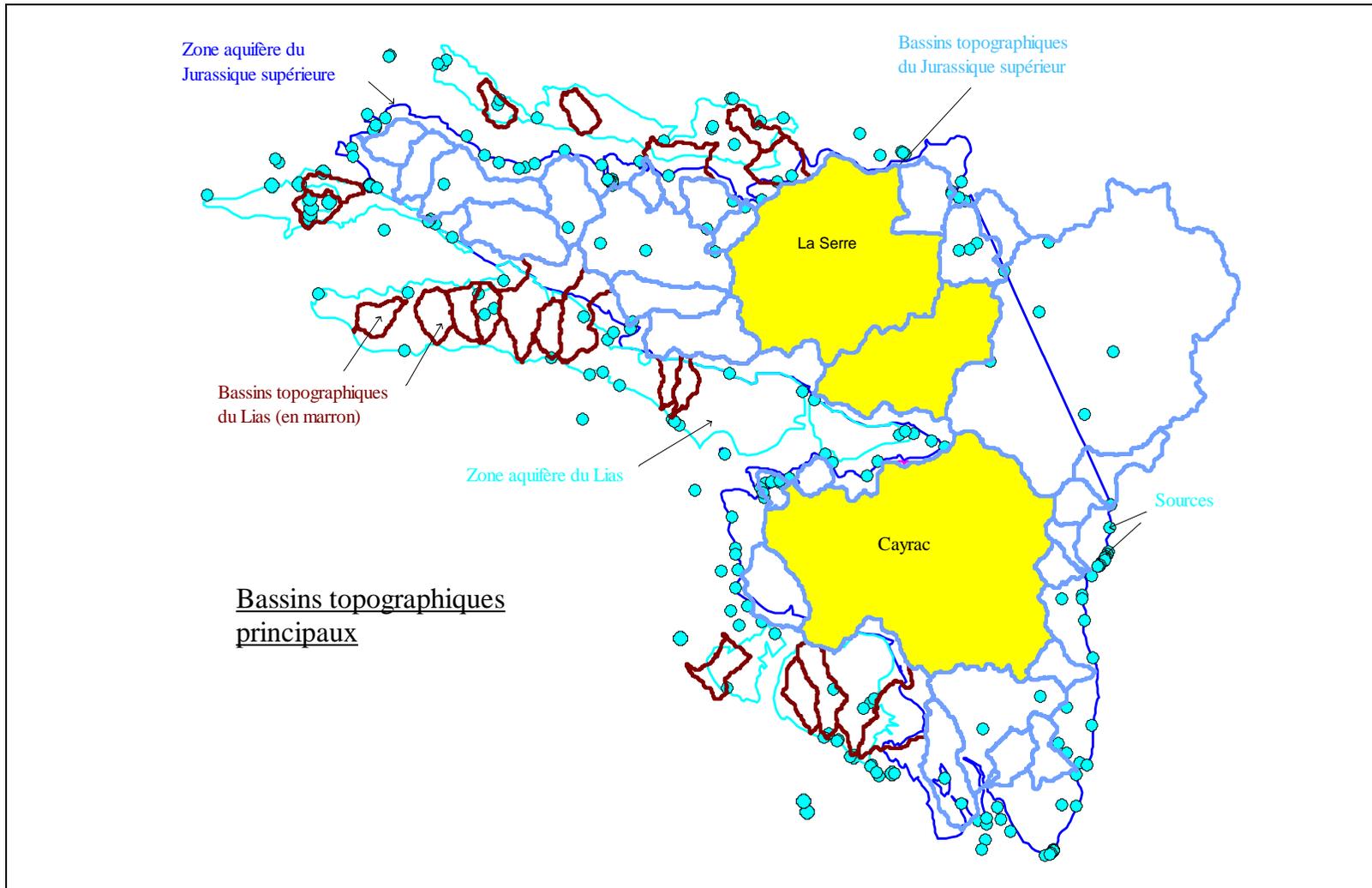


Figure 11 : Bassins topographiques principaux

3.2 Détermination de bassins hydrogéologiques potentiels

3.2.1 Géologie et Tectonique

(cf. planche 3)

Les contraintes tectoniques responsables des grands accidents régionaux observés ont aussi induit une fissuration des roches calcaires, dont le comportement est cassant sous la contrainte. Cette fissuration a eu pour conséquence la création de plans de drainage, à l'origine de la perméabilité de ces roches. L'expérience indique que l'organisation spatiale de tels plans et la perméabilité qui en découle sont très généralement anisotropes (existence de directions préférentielles de drainage). Il importe donc de bien caractériser cette organisation si l'on veut comprendre comment peut s'effectuer la circulation des fluides dans les masses calcaires.

3.2.1.1 Tectonique régionale

* Au niveau régional apparaît un important réseau de failles disposées selon quatre directions majeures : E-W, N-S, NW-SE et NE-SW. Ces accidents résultent : soit du jeu de failles synsédimentaires jurassiques, plus ou moins réactivées par la suite ; soit de l'impact des diverses phases tectoniques tertiaires, bien connues dans les domaines alpins et pyrénéo-provençaux et qui ont aussi marqué cette région.

* Ces données proviennent d'une étude tectonique du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses (cf. rapport de S. BRUSSET et al., 2004) qui a permis de définir dans le détail les grands traits de la structure de ce secteur. Signalons toutefois que notre point de vue par rapport à cette étude est beaucoup plus restrictif, puisqu'il ne concerne que les fractures ouvertes ou qui l'ont été et dont dépend la perméabilité. Néanmoins, les résultats obtenus à partir des plans de drainage et que nous allons résumer, s'intègrent parfaitement avec ceux obtenus par ces auteurs et avec leurs conclusions et interprétations.

3.2.1.2 Microtectonique : plans de drainage

* La reconnaissance des plans de drainage et la caractérisation de leur orientation passe par l'analyse microtectonique du plus grand nombre possible de coupes, coupes sur lesquelles sont recherchées des tectoglyphes (failles, veines ou stylolites) et mesurés orientation et pendage de celles-ci. Partant de ces mesures un programme permet de calculer des ellipsoïdes de déformation, dont deux des axes principaux seulement peuvent correspondre à un plan de drainage : plan défini par σ_1 (axe principal de compression) et σ_2 (axe intermédiaire) et nécessairement perpendiculaire à σ_3 (axe de contrainte principale d'extension)- Remarque : se reporter au travail de B. GARRY pour plus de détails sur la méthode...

* Les caractères géométriques (direction et pendage) des plans de drainage, ainsi repérés à partir des mesures effectuées sur une dizaine de coupes, sont rapportés dans la figure suivante sous forme d'histogramme et stéréogramme.

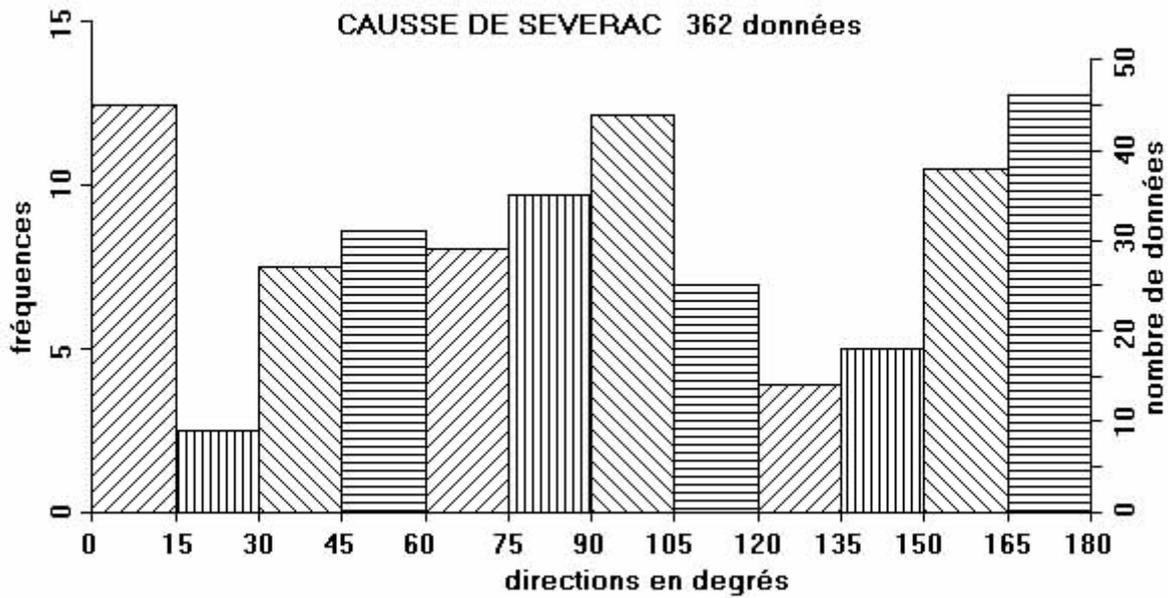


Figure 12 : Histogramme des plans de drainage du Causse de Séverac

* Que ce soit au niveau de l'histogramme ou du stéréogramme on constate l'existence de deux grandes familles de direction : 1- une famille quasi N-S, correspondant à des plans verticaux; 2- une famille d'orientation approximativement E-W, correspondant à des plans verticaux ou beaucoup plus obliques. Deux directions privilégiées devraient donc se manifester au niveau de la perméabilité: E-W et N-S, ce que la distribution des sources autour du massif confirme pleinement.

* Cependant, l'hétérogénéité de la lithologie (calcaires entrecoupés de marnes) pourrait aussi exercer un contrôle sur les écoulements. L'influence de cette hétérogénéité est certainement négligeable pour les écoulements guidés par les fractures verticales, quelle que soit la direction de celles-ci ; mais il pourrait ne pas en être de même pour les fractures obliques, qui ne se trouvent être associées qu'à la direction E-W. Des écoulements latéraux préférentiels selon cette direction sont donc possibles au niveau de certaines discontinuités lithologiques; ceci d'autant plus que le creusement des gorges du Tarn à l'Est du plateau n'a pu que favoriser le phénomène.

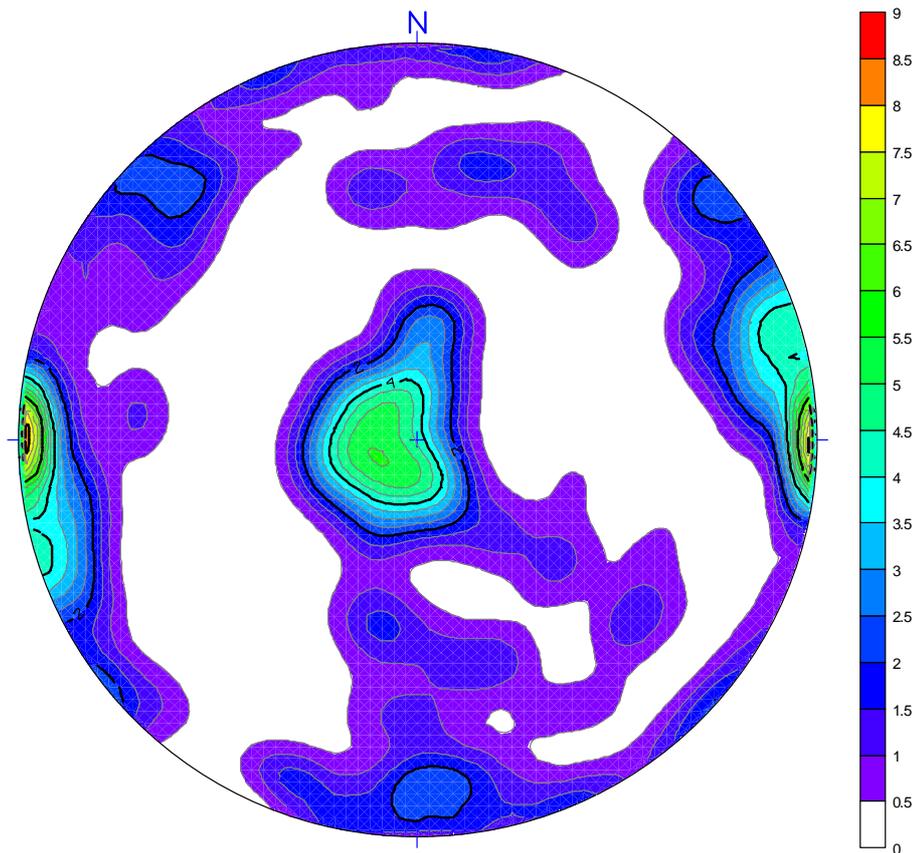


Figure 13 : Stéréogramme des plans de drainage du Causse de Séverac

* Cette idée se trouve aussi renforcée par tout ce que l'on sait par ailleurs sur le mode de développement de la karstification. La mise en place d'un karst obéit en effet à une loi fractale faisant apparaître des symétries d'ordre 5 ; et l'existence d'angles supérieurs à 36° entre deux principales directions d'écoulement a pour conséquence le développement de réseaux anastomosés selon chacune de ces directions. Le karst de Sauveterre pourrait donc, éventuellement, présenter un double comportement hydrodynamique, assez éloigné sans doute de celui du Larzac...

* Les traçages effectués, dont nous parlerons plus loin, confirment tout à fait les conclusions tirées de cette première approche exclusivement structurale.

3.2.2 Géomorphologie : Les formes karstiques de surface

3.2.2.1 Les surfaces

L'observation des formes du paysage révèle l'existence de nombreux replats indépendants de la structure (pendage, faille, variation lithologique). Nettes dans certains secteurs, ces formes sont le plus souvent conservées à l'état de lambeaux à l'aide desquels nous pouvons néanmoins reconstituer leur extension initiale. Les plus hautes, et donc les plus anciennes, sont généralement assez mal conservées. Les plus basses forment de grands plans localement défoncés par le soutirage. Ces surfaces se raccordent avec le plan inférieur par l'intermédiaire d'une bordure de corrosion plus ou moins dégradée.

Ces replats ne correspondent pas tous à une surface d'érosion généralisée mais plutôt à des niveaux d'aplanissements karstiques (surface de substitution karstique). D'extension moindre,

ces formes sont généralement emboîtées dans la surface précédente. Elles matérialisent plusieurs phases d'abaissement relatif du niveau de base sur lequel se calent ces aplanissements.



Figure 14 : Photographie - Vue vers le sud depuis les environs de Novis. L'existence d'une surface fondamentale n'est pas une vue de l'esprit. On perçoit bien ici un niveau de replat généralisé qui recoupe indifféremment tous les termes de la série stratigraphique et que l'on retrouve d'un causse à l'autre.

Sur le terrain, nous avons identifié plusieurs surfaces. Cet étagement est très net par exemple dans le secteur au sud de Massegros.

Avec la Surface Fondamentale des Causses, on isole trois aplanissements majeurs :

- **La Surface Fondamentale des Causses**, bien que mal conservée et mal datée, est invoquée par l'ensemble des auteurs pour expliquer l'inadaptation du réseau hydrographique à la structure des causses (Coulet, 1962 ; Joly et Dewolf, 1985 ; Ambert, 1994). Sa formation a pu débuter dès retrait de la mer crétacée (Crétacé terminal) et se poursuivre jusqu'à la fin de l'Eocène puisqu'elle nivelle sur un même plan les grands accidents pyrénéens qui morcellent le causse. Cette surface, largement démantelée, se retrouve sous forme de lambeaux qui tangent certains hauts reliefs des Causses, autour de 1000 mètres d'altitude (l'Ancize (1005 m), Montcan (983 m), Plo de Montbanast (982 m)). Cette surface se développe sur les causses voisins (cf. photo.) ainsi que sur le Lézou. Elle semble accuser une pente en direction de l'ouest.

- **Un niveau de replats intermédiaires** assez bien exprimés sur le Causse de Massegros, notamment entre 850 et 880 mètres.
- **Un niveau emboîté** entre 800 et 830 mètres qui correspond au fond du poljé de Massegros (partie occidentale). Cette altitude concerne également le fond des certaines dépressions du Causse de Sauveterre (les Fonts, vallon de Combelongue-Bonsecours, secteur nord de Soulages).

L'étagement de ces surfaces illustre l'enfoncement et le morcellement des morphologies karstiques consécutives au soulèvement, certes modéré, mais général du bloc cévenol. Les canyons s'inscrivent à partir de la dernière surface et modifient radicalement les modalités de l'évolution morphogénétique. L'introduction d'un gradient hydraulique marqué réduit fortement les possibilités de formation d'aplanissements karstiques. Il tend désormais vers une verticalisation du karst et vers le défonçage de ces anciennes surfaces. Certaines d'entre-elles vont cependant pouvoir conserver pour un temps leur couverture d'altérites et préserver un fonctionnement relique (poljé du Massegros).

3.2.2.2 Les poljés

Une forme majeure peut-être attribuée sans ambiguïté à un poljé : la grande dépression de cause de Massegros. Il existe cependant d'autres dépressions, plus modestes, dont la mise en place et le fonctionnement semblent comparables.

Ces formes résultent d'un dysfonctionnement karstique. En effet, le soutirage karstique est en grande partie neutralisé par une épaisse couverture argileuse autorise le développement d'aplanissements. Des circulations superficielles voire même des lacs temporaires (la Devèze au NE de Massegros) occupent les points bas topographiques. Si la proximité du niveau de base karstique est un élément important dans la mise en place et l'extension d'un poljé, l'apport de matériel argileux meuble constitue une autre condition importante. D'ailleurs, les poljés des Grands causses, s'ils sont désormais nettement perchés au-dessus du niveau de base, possèdent tous une importante couverture alluviale ou colluviale. Dans le secteur étudié, deux types de formations superficielles contribuent à la genèse de poljés : les argiles à chailles et les apports fluviaux allochtones.

3.2.2.2.1 Les poljés liés aux apports en argiles à chailles

On remarque au pied des ségalas, avec une certaine constance, la localisation de vastes dépressions allongées au fond partiellement couvert d'argiles à chailles (Massegros, Cèzes, Toutes Aures, Altayrac, St-Urbain). Ces argiles à chailles que l'on retrouve systématiquement associées à ce type de formes ont en fait un rôle morphologique majeur. Accumulées parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur, elles colmatent la surface des calcaires et constituent, en surface, une épaisse couverture argileuse souvent gorgée d'eau. Cette formation joue le rôle d'une compresse humide sur les calcaires et les dolomies, favorisant leur altération. Lorsque les conditions de gradient hydraulique le permettent (niveau de base proche de la surface topographique), elles limitent le développement vertical du karst et favorisent plutôt son extension latérale. Cette corrosion latérale à la périphérie des dépressions tend progressivement au développement d'aplanissements, par le biais de bordures de corrosion.

a – Le poljé de Massegros

Les calcaires à chailles du Bajocien inférieur ourlent presque toute la bordure nord du Causse de Massegros, entre le Tensonnieu et Sermeillets. Des ségalas se développent en direction du sud et alimentent en argiles à chailles cette grande dépression orientée E-W (cf. fig.). Aux longs versants couverts d'argiles à chailles au nord s'oppose, au sud du poljé, un ressaut topographique d'une vingtaine de mètres très contourné. Il s'agit d'une bordure de corrosion que l'on suit d'est en ouest, de Massegros à Sermeillets.

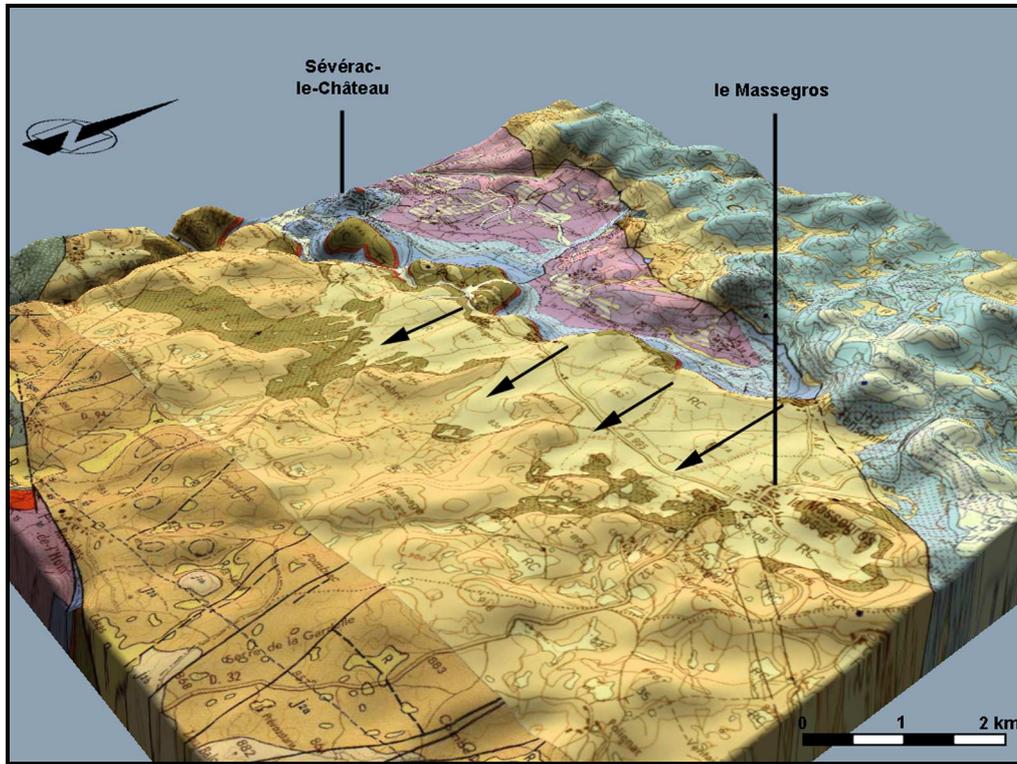


Figure 15 : Le poljé de Massegros est favorisé par la présence d'une couverture d'argiles à chailles qui transitent depuis les affleurements de calcaires à chailles du Bajocien par l'intermédiaire de longs versants non structuraux : les ségalas.

Le fond de la dépression est caractérisé par plusieurs paliers étagés d'est en ouest : 860 mètres au sud de Massegros, 840 mètres au niveau du Chemin d'Alby et 810 mètres autour de Sermeillets.

L'ensemble de ces observations permet de retracer certaines étapes de l'histoire de ce poljé. Le début de l'abaissement du niveau de base a mis en place le transit d'argiles à chailles en direction des secteurs les plus sensibles à la crypto-corrosion. La couverture meuble et étanche permettait l'extension de la dépression vers le sud, par le recul progressif d'une bordure de corrosion. C'est à ce niveau que se localisent les ponors qui évacuent les eaux issues des ségalas.

La poursuite de l'abaissement du niveau de base provoque l'approfondissement du poljé. En même temps, le creusement des vallées tronque l'amont des ségalas. En conséquence, dans le fond du poljé, la couverture d'argiles à chailles perd en extension. Les replats abandonnés sont alors défoncés par les soutirages karstiques accrus par les possibilités de concentration

des eaux superficielles qu'offrent les lambeaux de couverture d'argiles à chailles. Ce sont par exemple les secteurs plans situés autour du Mont Cabrié ou l'on trouve encore des fragments de chailles isolés.

Les différents paliers que l'on observe au fond du poljé correspondent à l'adaptation de la karstification à l'abaissement du niveau de base, en fonction de l'alimentation disponible en argile à chailles. On assiste donc progressivement à un morcellement du fond du poljé.

Enfin, l'érosion régressive de la vallée de l'Aveyron a commencé à démanteler la partie occidentale de ce poljé, entre St-Dalmazy et Sermeillets. Elle a pu être favorisée, pendant les périodes froides du Quaternaire, par le gel permanent et profond du sol. Lors de radoucissements, les écoulements bloqués en surface par le permafrost ont pu déborder de l'enceinte du poljé par ce côté et creuser ce vallon.

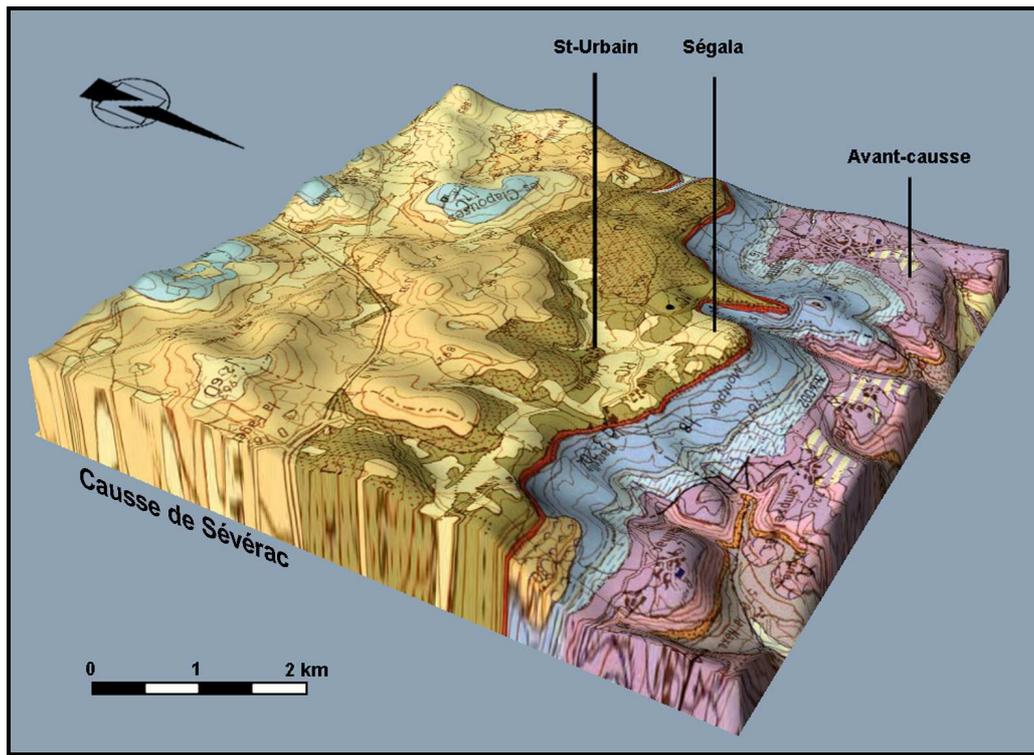


Figure 16 : Au nord du hameau de St-Urbain, le redressement de la série stratigraphique en direction du nord permet l'affleurement des calcaires à chailles du Bajocien inférieur. Les argiles à chailles transitent le long des ségalas vers le fond de la dépression. Cette morphologie qui a pu correspondre à un poljé est maintenant en partie drainé par un vallon en direction du sud-ouest.

b – les autres poljés

Les dépressions de St-Urbain, d'Altayrac et de Toutes Aures se localisent également au pied des ségalas (cf. figure). D'une extension bien moindre que sur le Causse de Masegros, ces formes correspondent néanmoins des petits poljés. Elles découlent probablement de formes plus amples regroupant les poljés de St-Urbain et d'Altayrac notamment. Le recul de la corniche calcaire et le développement d'une série de ravins en amont de la reculée de

Roquaizou ont largement démantelé ces formes. Ces poljés sont limités au sud par une bordure de corrosion développée dans les dolomies du Bajocien inférieur.

Dans la partie sud-ouest, un vallon fluvio-karstique draine actuellement la dépression. Il peut correspondre, comme pour le poljé de Massegros, au débordement du poljé pendant le Périglaciaire.

3.2.2.2.2 Le demi-poljé de Sagnes-Novis

De taille encore plus réduite, la dépression allongée de Novis peut toutefois être assimilée à un poljé, ou plutôt à un demi-poljé. Sa position est à cheval sur la faille des Palanges. Au nord, une série de cuvettes d'érosion est déblayée dans les pélites permienes. En aval, une bordure de corrosion contournée entame les calcaires du Bathonien. La couverture est constituée par d'abondantes plaquettes de pélites et par une matrice argilo-sableuse. Toutes ces formations proviennent de l'érosion des niveaux permo-triasiques qui affleurent au sud de la faille. Ces dépressions, allongées le long de la faille des Palanges, désorganisent l'amont d'une série de vallon fluvio-karstiques orientée N-S.

Les écoulements pérennes sont drainés vers des ponors : la perte des Sagnes et la perte des Soucis. Lors de fortes précipitations, des lacs peuvent perdurer pendant plusieurs mois. Mais des travaux d'aménagement de la perte des Soucis drainent désormais efficacement les ruissellements issus des versants permienes et ne permettent plus la formation du Lac de Novis.

3.2.2.3 Les vallons fluvio-karstiques

En domaine karstique, la formation de vallons fluvio-karstique implique deux conditions. Il faut tout d'abord que le niveau de base karstique ne soit pas trop déprimé pour permettre le maintien des écoulements en surface. Il faut également la présence d'une couverture imperméabilisante qui favorise non seulement la concentration des eaux en amont mais aussi leur préservation du soutirage karstique. Ceci devient d'autant plus vrai lorsque les canyons se creusent et que le niveau de base karstique s'approfondit.

L'observation de la morphologie d'ensemble du secteur étudié fait ressortir une différence flagrante : au Causse de Massegros où les vallons karstiques sont mal exprimés et désorganisés par le soutirage karstique s'oppose le Causse de Sévérac, où ces formes sont bien exprimées et très bien préservées.

Globalement, nous distinguerons deux types de vallon fluvio-karstiques : ceux développés sur le Causse de Massegros et qui font appel aux apports allochtones et ceux développés sur le Causse de Sévérac, liés en grande partie à la présence des dépôts crétacés.

3.2.2.3.1 Les vallons fluvio-karstiques du Causse de Massegros

Ils se situent tous dans la partie occidentale du Causse, en aval du contact avec les formations permo-triasiques (cf. figure). Ce système de vallées prend donc sa source sur les niveaux imperméables au sud de la faille des Palanges et se dirige en direction du nord. On retrouve dans ces vallées des fragments de grès triasiques ainsi que des pélites permienes qui confirment bien leur fonctionnement en relation avec l'amont imperméable. Trois axes principaux sont discernables (d'ouest en est) :

- La vallée de Murailasse – la Grèse – les Rouquets. Cette large vallée, déconnectée de son amont imperméable, se raccorde au poljé de Massegros.

- La vallée de Novis – Lauzeral – Mont Cabrié : orientée nord-sud, cette large vallée rejoint elle aussi le poljé de Masegros au niveau des Rouquets.
- Au nord de Recoules-de-l'Hom, plusieurs morphologies allongées en direction du nord et du NE font penser à des vallées aveugles. Mais le défonçage par le soutirage karstique a fait disparaître les dépôts corrélatifs de ce fonctionnement et a désorganisé leur fond. L'une d'elles, assez nette, se termine dans la vaste dépression de Pombiac.

L'ensemble de ces vallées sèches témoigne de fonctionnements révolus. Avant son aménagement et lors d'épisodes pluvieux exceptionnels, il arrivait que le lac de Novis déborde. Les eaux empruntaient un vallon fluvio-karstique sur quelques centaines de mètres avant de se perdre. Ces débordements, bien plus fréquents pendant le Périglaciaire, sont certainement à l'origine du surcreusement de ces vallées sèches. Par exemple, en aval de Sagnes, on suit un petit vallon fluvio-karstique assez incisé qui oblique vers l'ouest et rejoint le cours de la Verlenque par un ravin en très forte pente. Cette forme recoupe et désorganise l'ancienne vallée fluvio-karstique plus large et orientée N-S.

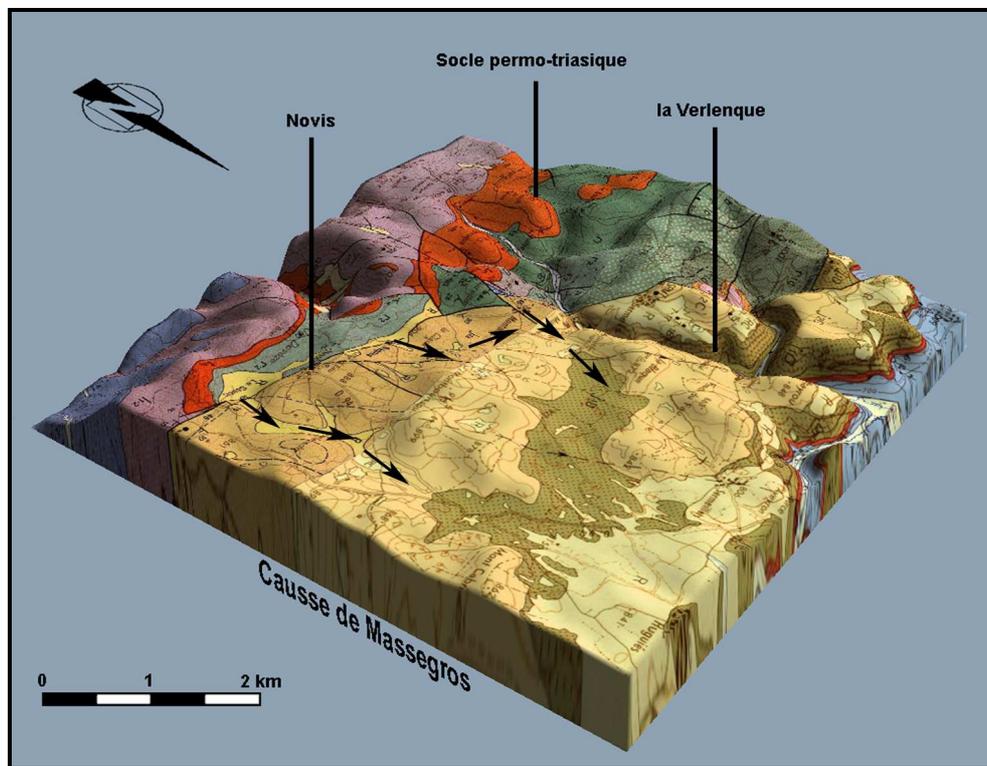


Figure 17 : Plusieurs vallons fluvio-karstiques parcourent la partie occidentale du Causse de Masegros. Ils prennent leur source sur les terrains permo-triasiques qui affleurent au sud de la faille des Palanges.

Ainsi, ces vallées sèches sont en grande partie fossiles. Avec un amont tronqué, elles n'ont plus la possibilité de conserver un cours aérien. Seule la vallée de la Verlenque a pu conserver un écoulement et inciser l'entablement des causses au fur et à mesure de l'abaissement du niveau de base. Ceci a été possible car son bassin versant amont n'a pas encore été capturé par les vagues d'érosion régressive déclenchées par le creusement du Tarn. Des poljés de bordures se sont alors développés, profitant de la zone broyée des la faille des Palanges et de l'abondance de matériel érodé sur les versants permien. Enfin, le drainage hypogé de ce

secteur vers la source du Rouveyrol matérialise bien la capture progressive de ces écoulements vers le Tarn alors qu'ils alimentaient à l'origine le bassin versant de l'Aveyron.

3.2.2.3.2 Les vallons fluvio-karstiques du Causse de Sévérac

Ce sont de larges vallons, peu affectés par le soutirage et très bien hiérarchisés. Plusieurs formes majeures ont été identifiées :

- La vallée sèche de Combelongue orientée ouest-est dans sa partie amont, prend ensuite une direction sud-nord jusqu'à la bordure du causse.
- Plus à l'est, le système de vallons fluvio-karstique de Combelongue-Bonsecours montre une importante hiérarchisation. Ici aussi, la vallée qui collecte toute une série de vallon fluvio-karstiques se dirige vers la bordure du plateau.
- Plus à l'ouest, on retrouve plusieurs vallons fluvio-karstiques qui rejoignent la bordure sud du causse (Mayrinhac-le-Haut, Aguès et Pouzarac).
- Enfin, à l'est du secteur étudié, deux systèmes de vallons fluvio-karstiques (le Recoux, les Fonts) sont largement affectés par le soutirage karstique.

Cet ensemble de dispositifs morphologiques est assez étonnant dans le contexte karstique des Grands Causses qui tend plutôt vers l'endoréisme et la désorganisation des formes de surfaces. Ici, on observe plutôt une hiérarchisation des formes et un exoréisme des circulations.

Deux facteurs permettent de mieux comprendre cette organisation :

- La proximité du niveau de base est très importante pour permettre ce type d'organisation à la surface du causse. La structure en gouttière synclinale du Causse de Sévérac permet le redressement des marnes du Lias à la bordure du plateau. Ainsi, ces marnes se sont trouvées à la même altitude que les séries du Dogger et d'une partie du Malm. Ce sont elles qui ont commandé la position du niveau de base karstique de ce causse tant que la vague d'érosion régressive initiée par le creusement des canyons n'est pas parvenue jusqu'ici. De fait, et pendant une longue période, l'essentiel de la morphogenèse était maintenu en surface et a contribué à ce type d'organisation.
- L'abondance des dépôts créacés a également joué un rôle important. La présence de cette couverture argilo-sableuse a permis la concentration des écoulements en amont de ces vallons fluvio-karstiques. Plusieurs de ces vallées démarrent à partir d'une dépression où nous avons observé une couverture résiduelle créacée importante. Ce matériel remanié en aval contribue également à l'étanchéification du fond des vallées et donc au maintien des écoulements en surface.

Le creusement des canyons ne semble pas avoir bouleversé ce dispositif dont les formes sont encore très nettes. D'ailleurs le fond de ces vallons, en tout cas pour ceux situés à l'ouest, n'est quasiment pas perturbé par le soutirage karstique. Seuls les systèmes les plus à l'est (le Recoux et les Fonts) sont défoncés par le soutirage karstique. Il faut peut-être voir là les signes d'une dynamique karstique renouvelée, notamment avec l'extension dans ces secteurs du bassin versant du Tarn (hydrosystème des sources de Bouldoire, du Pas-de-Soucy et de Fontmaure). Dans la partie ouest en revanche, les sources de déversement situées au toit des marnes imposent un gradient hydraulique moindre et donc un impact modéré du soutirage. Lors de crues exceptionnelles, il arrive encore que la vallée de Combelongue-Bonsecours soit parcourue par une véritable rivière (com. orale, J. POMIE).

3.2.2.4 Les dolines

Nous ne ferons pas ici une distinction des différents types morphologiques de doline (doline dissymétrique, doline en baquet, doline à bords raides...) mais plutôt un regroupement de ces formes en fonction de leur contexte génétique découlant de leur position topographique, de la lithologie encaissante et du type de formations superficielles.

3.2.2.4.1 Les dolines à remplissage crétacé et à formations apparentées

Ce sont pour l'essentiel de grandes dolines isolées. Leur formation est complexe puisque, pour certaines d'entre-elles, il faut remonter jusqu'au Crétacé, peut-être pendant la période de bauxitogène. C'est le cas certainement d'une doline à l'est des Fonds où la bauxite et les calcaires gréseux en place ont été découverts. D'autres dolines semblent avoir la même origine sans fournir en surface de preuves aussi nettes. On retrouve néanmoins des concentrations extrêmement importantes de blocs de grès ferrugineux dont certains dépassent la tonne ainsi que des poches d'argiles sableuses versicolores. C'est le cas des dolines du Maynard, de la Tieule, de Pertuzades ou du Grand Viala. C'est le cas également de dolines plus petites, véritables poches d'argiles sableuses où l'on retrouve les grès ferrugineux en place (doline sud du Claro Labogon ou la doline du col de Lou Randal). Beaucoup d'autres dolines découlent certainement de la présence de dépôts crétacés en place ou remaniés. Seule une campagne de forages d'envergure permettrait de les identifier de manière sûre.

Dans ces dolines, le remplissage peut atteindre plusieurs dizaines de mètres de profondeur comme l'on montré les sondages réalisés sur le Causse de Campestre.

3.2.2.4.2 Les grandes concentrations dolines

L'examen de la carte morpho-karstique (cf. planche 2) montre que la répartition des dolines n'est pas aléatoire. Elles sont souvent regroupées et affectent des morphologies plutôt planes. Plusieurs contextes apparaissent clairement :

- La bordure sud du poljé de Massegros présente un grand ensemble de dolines allongées le long de la bordure de corrosion. Elles sont dues au morcellement de la couverture d'argiles à chailles lorsque la diminution des apports et la concurrence du soutirage karstique n'ont plus permis son maintien. Les limites méridionales du poljé ont donc reculé au pied des ségalas, abandonnant des lambeaux de replats. Ces banquettes de corrosion encore couvertes d'une couverture résiduelle sont progressivement défoncées par le soutirage karstique. Les lambeaux de couverture constituent autant de petits impluviums permettant le maintien de la crypto-corrosion et la concentration des écoulements vers des pertes. La formation d'une dépression se fait d'ailleurs d'autant plus facilement que le substrat a été longuement préparé par la crypto-corrosion et l'altération.
- Les anciens vallons fluvio-karstiques perchés, comme celui de Longviala au-dessus de Combelongue-Bonsecours ainsi que les lambeaux de replats qui dominent les talwegs actuels (les Planes au nord d'Altès, Cézals à l'ouest du Ginou ou Lous Perieyrols au nord-est de St-Rome-de-Dolan) concentrent un grand nombre de dolines. Ici aussi, c'est à l'occasion de l'abandon de ces surfaces de corrosion qu'ont démarré les défonçages karstiques.
- Enfin, d'autres vallons fluvio-karstiques présentent un fond criblé de dolines. C'est le cas du vallon du Recoux, des Fonts, mais aussi des vallons situés en aval des formations permo-triasiques sur le Causse de Massegros. Ce défonçage traduit la verticalisation du karst et la mise en place d'un drainage efficace qui élimine

ipso facto tout maintien des processus d'aplanissements. La tendance conquérante du bassin versant karstique du Tarn pourrait expliquer ces désorganisations pour certains d'entre eux. Plus à l'ouest, la paléo-vallée de la Muraille est plutôt démantelé par le soutirage karstique tributaire de l'Aveyron (source des Bastides et sources de l'Aveyron).

3.2.2.4.3 Les dolines à remplissage de grésou dolomitique

Comme nous l'avons vu, les dolomies sont sensibles à la crypto-corrosion. Des profils d'altération profonds jalonnent les failles et les diaclases du causse. Avec la verticalisation du karst et l'apparition d'un gradient hydraulique, ces formations meubles sont progressivement évacuées, ce qui se traduit en surface par un point de soutirage. Le ruissellement alimente continuellement en grésou dolomitique le fond des dépressions. Dans les points bas, celui-ci joue un rôle important sur la poursuite de la karstification car il conserve longtemps l'humidité. Il accroît l'effet de compresse humide et donc active la dissolution. Peu à peu, l'érosion linéaire et le soutirage se conjuguent pour exhumer les chicots dolomitiques de leur manteau d'altération.

Ce type de paysage caractérise surtout la partie méridionale du Causse de Massegros. Un grand nombre de dolines de ce secteur relève de ce processus. Ici aussi, c'est la verticalisation du karst, et notamment le soutirage exercé par les hydrosystèmes karstiques tributaires du Tarn qui en constituent les moteurs.

3.2.2.5 Les reculées karstiques

Il convient d'emblée de distinguer deux formes dont une seule correspond à la description et au fonctionnement d'une reculée karstique : la grande reculée orientée est-ouest, qui isole sur plus de dix kilomètres le Causse de Massegros de celui de Sévérac (dépression de Sévérac-le-Château), et les petites reculées qui indentent la corniche des causses.

3.2.2.5.1 La dépression de Sévérac-le-Château

Elle constitue une large échancrure profonde de 200 mètres en moyenne (cf. fig.). Le versant sud, constitué par un front de cuesta révélé par le jeu de l'érosion différentielle, a un tracé plus ou moins sinueux, isolant des buttes témoins. Les calcaires de la base du Dogger forment une corniche qui surmonte les formes plus molles développées dans les marnes du Lias. Sur l'autre versant de la reculée, le revers structural des calcaires du Jurassique inférieur, dégagé des marnes surincombantes, est entaillé par le réseau hydrographique. Fortement incliné, il se raccorde à la surface du plateau soit directement, soit par l'intermédiaire d'une petite corniche. La bordure du plateau, calquée sur la faille de des Vignes, a de ce côté un tracé plus rigide.

Au point de vue structural, ce type de reculées, déjà rencontrées sur le Larzac, sont développées à la faveur d'anticlinaux liés aux principaux accidents est-ouest. Ces plis dissymétriques surélèvent les calcaires du Jurassique inférieur, mis alors en contact par faille avec les formations du Dogger. En direction du sud, le pendage décroît rapidement et la surface structurale des calcaires liasique disparaît sous les marnes domériennes (le Tensonnieu).

Bien que des sources karstiques y émergent actuellement, cette reculée ne peut pas être assimilée à une reculée karstique, en tout cas dans sa plus grande partie. En effet, au niveau de l'anticlinal associé à la faille des Vignes, les marnes du Lias sont surélevées et se trouvent à la

même altitude que les formations du Dogger. Ce dispositif, tronqué par les niveaux de replats intermédiaires, a ensuite été soumis à l'érosion induite par le creusement des canyons. L'érosion déblaye préférentiellement les marnes liasiques et aboutit à une inversion de relief. Le creusement d'une combe anticlinale précède le fonctionnement en reculée karstique. Cette reculée évolue donc par érosion régressive, le long des affleurements de marnes.

Le recul du versant sud de la combe est commandé par l'érosion des marnes (sapement), et aboutit au développement de corniches par sapement. Ce n'est qu'à partir de ce moment là, que des sources karstiques peuvent se mettre en place, soit au pied de la corniche bajocienne, soit dans les calcaires et les dolomies du Lias fraîchement dégagés des marnes sus-jacentes (Tantayrou par exemple).

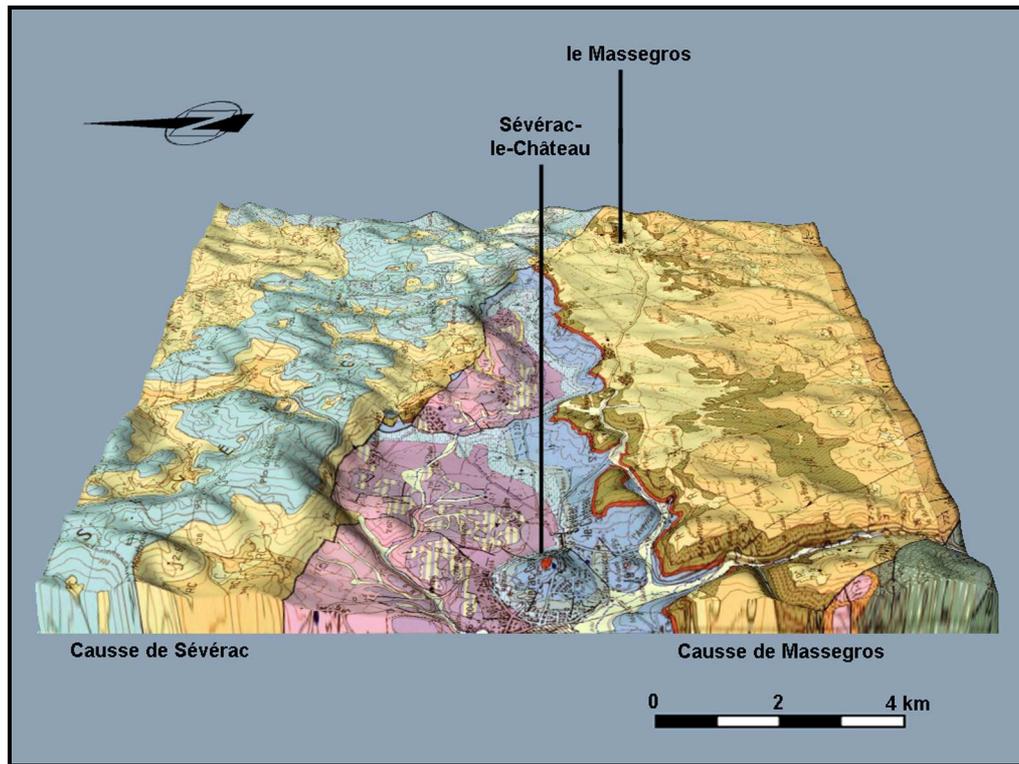


Figure 18 : La dépression de Sévérac ne correspond pas à une reculée karstique, mais plutôt à une combe anticlinale. Cette inversion de relief a été facilitée par le déblaiement des marnes du Lias.

3.2.2.5.2 Les reculées karstiques du causse

Profondes de quelques centaines de mètres à plus de 3 km (Roquaizou), ces reculées sont encadrées par de hautes corniches qui s'appuient sur les marnes du Lias. Au toit de ces dernières sourdent plusieurs sources qui drainent une portion plus ou moins grande de la bordure du plateau.

Certaines d'entre-elles, assez curieusement de prime abord, sont développées exactement dans l'axe des grandes paléo-vallées qui sillonnent le Causse de Sévérac, en l'absence de tout contrôle structural apparent. C'est le cas des reculées de Canac (Campagnac), de la Vayssièrre (Campagnac) ou de Lestang (Banassac).

La présence des reculées karstiques des Grands Causses requiert une constante que nous avons déjà observée sur le causse du Larzac : la nécessité du binôme de roche dure karstique

et roche tendre imperméable. Les sources concernées sont des sources de déversement. Les écoulements permettent l'érosion des marnes et le sapement de la corniche calcaire au droit de la source. Leur extension vers l'intérieur du plateau est toutefois rapidement enrayée par l'épaisseur croissante, du fait du pendage, de la dalle de calcaires qui surmonte les marnes.

Nous avons pu observer sur le Larzac ce qui semble être le point de départ de la mise en place d'une reculée karstique de ce type. Lors de crues exceptionnelles, d'importants glissements ont affecté les marnes de la reculée du Bauras (Cornus). Ils matérialisaient la mise en place d'une nouvelle source et marquaient le point de départ de la formation d'une reculée.

Sur le Causse de Sévérac, les grands vallons fluvio-karstiques à la surface du plateau semblent eux aussi jouer un rôle dans la localisation des reculées. En effet, ces formes karstiques qui matérialisent des écoulements de surface exoréiques débouchent du causse par une profonde entaille dans la corniche. Le pendage du toit des marnes étant orienté vers l'intérieur du plateau, cette incision permet le déversement de la nappe karstique à une altitude moindre que sur le pourtour extérieur du plateau. Ainsi, la présence de ces vallées sèches a contribué au positionnement d'exutoires karstiques. Ces derniers évoluent ensuite en reculée karstique, accidentant l'ancienne vallée sèche d'une corniche ou d'un ravin en forte pente (Lestang, Canac et peut-être Roquaizou).

3.2.2.5.3 Les reculées karstiques de l'avant-causse

Moins spectaculaires, plusieurs sources karstiques importantes sourdent au fond de reculées développées au contact entre les calcaires liasiques et les formations permo-triasiques. Ce sont par exemple les sources de Campselves (St-Laurent-d'Olt), des Courtinaux (Campagnac), des Bouissettes (St-Géniez-d'Olt), de Font-Frège (St-Martin de Lenne) ou de Glassac (Pierrefiche) au nord du Causse de Sévérac. Dans la dépression de Sévérac-le-Château, une seule reculée est bien matérialisée dans les calcaires et les dolomies du Lias : la reculée des Sept-Fonds sur la commune de Buzeins.

Certains de ces exutoires sont pénétrables et donnent accès, comme la source des Courtinaux à plusieurs kilomètres de galeries plus ou moins labyrinthiques.

3.3 Validation des bassins hydrogéologiques

(cf. planche 4)

3.3.1 Analyses des débits

Deux campagnes de mesures ont permis de connaître les débits des sources secondaires sur le territoire d'étude. Ces mesures, couplées à celles des stations hydrométriques, permettent de calculer les débits sortants des massifs karstiques (Causse de Sévérac, Causse du Masegros, Avant Causses) et d'estimer la superficie des bassins hydrogéologiques par zones aquifères principales (lias et dogger), étant donné que toutes les sorties sont, à priori, connues.

Dans un second temps, et afin d'écartier la notion de réserve, un bilan hydrologique a été effectué sur deux cycles hydrologiques (2002-2003 et 2003-2004) pour les stations hydrométriques principales. Ceci afin de mieux apprécier les limites des bassins d'alimentation des sources karstiques principales. (cf. planche 6)

3.3.2 Analyse des bilans hydrologiques

3.3.2.1 La théorie

Le bilan hydrologique se fonde sur l'équation suivante : $P = Q + ETR + \Delta R$

avec : P = précipitations, Q = débit à l'exutoire, ETR = évapotranspiration réelle et ΔR = réserves.

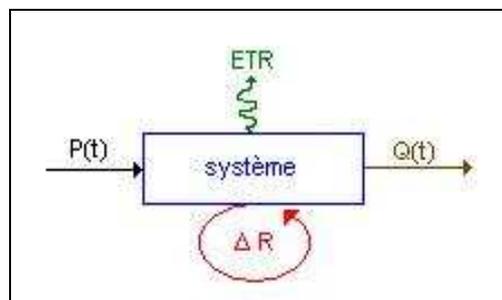


Schéma fonctionnel d'un système karstique

A l'origine, la méthode du bilan hydrologique est utilisée pour déterminer, sur un bassin de superficie connue, l'ETR qui correspond au déficit d'écoulement.

La méthode d'estimation utilisée pour déterminer l'ETR est la méthode de Turc annuelle. Elle présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre, d'être empirique, de ne faire aucune hypothèse préalable sur le fonctionnement de la zone d'infiltration, et de ne pas utiliser les termes du bilan. En outre, le caractère global de cette formule coïncide à la démarche utilisée pour l'étude des systèmes karstiques.

Ainsi, le déficit à l'écoulement (ETR) est calculé par la formule suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{(300 + 25\theta + 0,05\theta^3)^2}}} \quad P = \text{précipitations (mm) et } \theta = \text{température (}^\circ\text{C)}$$

De ce résultat, on peut tirer le débit spécifique des exutoires (Q_{sp}) :

$$Q_{sp} = \frac{(P - ETR - \Delta R) \cdot 10^6}{365 \times 86400}$$

Pour notre étude, les réserves (ΔR) seront considérées comme nulles du fait de la durée suffisamment longue de mesures.

Enfin, le débit spécifique va pouvoir nous donner une approximation de la surface d'alimentation (S) des divers systèmes karstiques, à l'aide du débit moyen journalier ($\overline{Q_j}$) de ou des exutoire(s) de chaque système :

$$S = \frac{\overline{Q_j}}{Q_{sp}}$$

3.3.2.2 La pratique

A partir de ces formules on peut donc soit obtenir la superficie du bassin d'alimentation si l'on connaît le débit moyen annuel ou le débit moyen annuel si l'on connaît la superficie du bassin d'alimentation.

Un exemple de fiche de calcul est proposé pour la source du Ségala (cf. tableau ci-dessous).

Station : Segala

Formule de Turc	
Pluie annuelle	P 978.2 mm
Température moyenne	T 8.75 °C
Déficit à l'écoulement	D
	L 552
	P2/L2 3.137545349
Déficit à l'écoulement	D 487 mm
Infiltration efficace	P-D = 491 mm

Q spécifique	
	Q = 16 l/s/km2

Calcul du bassin versant	
Moyenne annuelle	Q source = 214 l/s
	Superficie du bassin d'alimentation = 13.7 km2
	13 734 202 € m2
	1 373 € ha
	137 342 € ares

Exemple de calcul pour la source du Ségala

Grâce aux débits mesurés sur l'ensemble des sources, une évaluation des superficies a été effectuée. Connaissant cette superficie, on a pu déterminer à l'aide du bilan hydrologique, le débit moyen des sources. Les résultats obtenus coïncident avec la réelle connaissance des débits liés aux stations hydrométriques.

La méthode du bilan hydrologique est donc une méthode fiable dans le cas de l'étude de systèmes karstiques. Nous verrons plus loin qu'il existe tout de même quelques différences pour certaines sources.

Cette méthode a aussi permis de mettre en évidence des apports profonds d'eaux souterraines pour les sources de Tantayrou et Buzareingues. En effet, la superficie des bassins d'alimentation sur la partie liasique ne permet pas d'expliquer les débits à l'exutoire.

Ces apports profonds peuvent être estimés à 75 % pour Tantayrou et 40 % pour Buzareingues.

Cette méthode couplée à la mesure de débits sur le Tarn en août 2003 (cf. estimation des apports d'eaux souterraines du Causse de Sauveterre et du Causse Méjean au Tarn entre Ispagnac et le Rozier en annexe) a permis d'estimer le bassin d'alimentation de Beldoire-Fontmaure à environ 131 km².

L'estimation du bassin d'alimentation de la source de Glassac a permis, connaissant le débit moyen annuel à la station, d'estimer à 50 % les apports moyens de la Serre dans l'année à Glassac.

La superficie des bassins d'alimentation déterminée par la méthode du bilan est indiquée dans le tableau ci-dessous en km² (cf. planche n° 4). Pour certaines sources, Lestang, Rouveyrol, Esparses et Roquaizou, il a fallu agrandir la superficie d'alimentation du fait du contexte géologique, des traçages, de l'hydrochimie et de la géomorphologie. Ceci peut sous entendre quelques incertitudes dans les données de débit de ces stations (mauvaise courbe de tarage, problème de sensibilité,...).

Par contre pour les Courlinaux, c'est l'inverse, la superficie du bassin a été diminuée.

Station	Superficie (en km²) déterminée avec le bilan hydrologique et le débit de la source	Superficie réelle (en km²) établi sur le SIG avec les données géologiques	Différence
Roquaizou	1.40	2.56	-45%
Verlenque	1.70	1.74	-2%
Serre	1.68	1.69	-1%
Bastide	2.60	2.75	-5%
Mas de Lafon	5.20	5.49	-5%
Duc	2.78	2.67	4%
Esparses	3.60	4.16	-13%
Courlinaux	4.71	3.78	25%
Cayrac	5.80	6.00	-3%
Mayrinhac	8.20	8.34	-2%
Segala	13.70	13.50	1%
Lestang	13.16	16.76	-21%
Rouveyrol	37.50	43.17	-13%

Figure 19 : Superficie des bassins hydrogéologiques

3.3.3 Apports des traçages

L'utilisation des traçages pour la détermination des bassins apparaît primordial en milieu karstique. C'est pourquoi, c'est plus de 33 traçages qui ont été réalisés pour cette étude (cf. planche n° 4 et tableau récapitulatif en annexe).

Les résultats détaillés sont décrits dans le chapitre 4 'Connaissance du fonctionnement et de la structure des aquifères'.

3.3.4 Apport de l'hydrochimie

Les différents éléments hydrochimiques sont marqueurs du contexte géologique et/ou marqueurs de pollutions anthropiques.

En ce qui concerne les marqueurs géologiques, on a utilisé le rapport molaire Ca/Mg qui est un bon indicateur du pourcentage des roches dolomitiques dans le système karstique. Compris entre 1 et 2, il indique un milieu essentiellement dolomitique, supérieur à 8 un milieu calcaire alors que deux groupements intermédiaires sont observés indiquant la prédominance des calcaires (entre 5 et 7) et un partage entre calcaires et dolomies (entre 2,5 et 4).

Les fortes valeurs relatives en silice dissoute supérieures à 12 mg.l⁻¹ dans un contexte de teneurs faibles comprises entre 3 et 16 mg.l⁻¹ résultent de la présence sur le bassin versant de formations superficielles spécifiques. Ce sont les épandages allochtones en provenance des terrains siliceux ante-triasiques du massif ancien du Lézou au Sud et à l'Ouest de la zone d'étude ainsi que les accumulations d'argiles à chailles dans les dépressions des calcaires et dolomies du Bajocien-Bathonien.

En ce qui concerne les marqueurs anthropiques, il s'agit des chlorures et des nitrates avec les cations qui leur sont respectivement liés, le sodium et le potassium.

L'évolution de ces paramètres est décrite dans le chapitre 4 'Connaissance du fonctionnement et de la structure des aquifères'. On peut noter comme fait marquant des teneurs parfois importantes en chlorures résultant du salage des routes ou du traitement par le chlorure ferrique des effluents de la station d'épuration du Masegros qui atteignent les sources de Rouveyrol et le Parisien.

3.3.5 Notion de limite de bassin hydrogéologique

Dans le cadre d'aquifère en milieu non calcaire (domaine de socle notamment), la superficie du bassin d'alimentation est donnée par les limites topographiques des terrains. En milieu karstique, c'est différent. La connaissance du bassin d'alimentation est régie par le niveau de base, le pendage des couches, les plans de drainage, la karstification...

Dans certains secteurs, les limites du bassin hydrogéologique peuvent être déterminées avec précision (cas de fractures ou de niveau imperméable), mais dans la plupart des cas les limites ne peuvent pas être connues de façon rigoureuse malgré l'emploi des outils classiques de connaissance (traçages, hydrodynamique, géologie, tectonique, hydrochimie, géomorphologie...). C'est pourquoi, ce sont des limites de bassin assez épaisses qui ont été mis en place pour symboliser les frontières entre bassin, parfois avec 500 m de largeur.

Cette notion est importante pour l'établissement des périmètres de protection des captages utilisés pour l'eau potable puisque les limites du bassin vont servir à définir les périmètres de protection immédiate, rapprochée et éloignée.

4 CONNAISSANCE DU FONCTIONNEMENT ET DE LA STRUCTURE DES AQUIFERES

4.1 Apport de la tectonique

L'ensemble des Grands Causses est assimilable à une structure paléogéographique NNE-SSW (*cf. figure*), siège d'une sédimentation marneuse et carbonatée de plate-forme interne au Jurassique inférieur/moyen. Ces séries présentent d'importantes variations d'épaisseur entre le secteur étudié, appartenant au grabben des Grands Causses, et le seuil cévenol à l'est. Ce dernier a fonctionné au Jurassique par le jeu de failles extensives synsédimentaires, responsables d'un découpage en blocs basculés (B. Peybernes & T. Pellissié, 1985) et de glissements synsédimentaires dès le Lias (J.P. Petit et *al*, 1973).

Un important réseau de faille, caractéristique de la structuration des Grands Causses, est disposé suivant quatre directions majeures : E-W, NE-SW, NO-SE et N-S.

Les manifestations des grandes phases tectoniques tertiaires connues dans les domaines alpin et pyrénéo-provençal sont décelées dans les Grands Causses.

Les mouvements tectoniques, à l'origine de la mise en place des Pyrénées, ont affecté le socle Hercynien en exerçant des contraintes N-S. Le réseau de failles inverses des Causses, organisé de façon homogène, semble être en accord avec la direction de raccourcissement (NS) de cette phase pyrénéo-provençale. L'évolution tectonique, active en cours de sédimentation, comme nous venons de le voir, s'est poursuivie par une série d'accidents majeurs d'importance régionale en relation avec les mécanismes de compression associés à la phase pyrénéenne.

Des processus de distension, à l'origine de failles normales, ont joué à différentes époques jusqu'au-delà de l'Oligocène.

Des épisodes volcaniques récents, néogènes et quaternaires, qui se sont traduits par des émissions ponctuelles et fissurales selon les directions majeures de fracturation, montrent une tectonique plus discrète mais présente jusqu'à l'actuel. Il s'agit du relèvement pontique.

Pendant et après le dépôt des terrains carbonatés des Grands Causses (Lias et Jurassique), les contraintes tectoniques, dont nous venons de parler, ont provoqué la surrection et la structuration des grands Causses en couches sub-horizontales. Le Causse de Sévérac est tronçonné par plusieurs types de failles (*cf. figure*) :

- Failles inverses NW-SE du cycle pyrénéen (faille des Palanges, failles des vignes), mettant en relation au Sud de Vimenet, le socle Hercynien allochtone avec les terrains sédimentaires du Lias, et le Lias au contact du Dogger par l'intermédiaire de la faille des vignes au NE de Sévérac-le-Château,
- Un chevauchement renversé vers le Nord, au SW de Sévérac-le-Château, remontant une unité allochtone du Lézou sur elle-même,

- Failles normales NW-SE et NNE-SSW, mettant en contact le Dogger avec le Permo-Carbonifère du bassin de Sermels.

La coupe géologique SSW-NNE (cf. figure) montre bien les déformations du socle hercynien ainsi que les structures sub-horizontales des dépôts carbonatés.

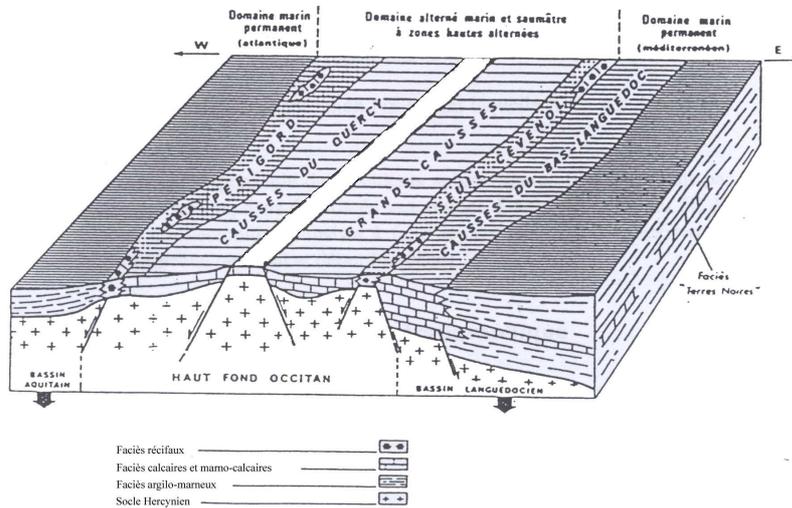


Figure 20 : Bloc diagramme schématique des diverses zones de dépôts et de faciès pendant le Jurassique (d'après P. Dubois, 1985)

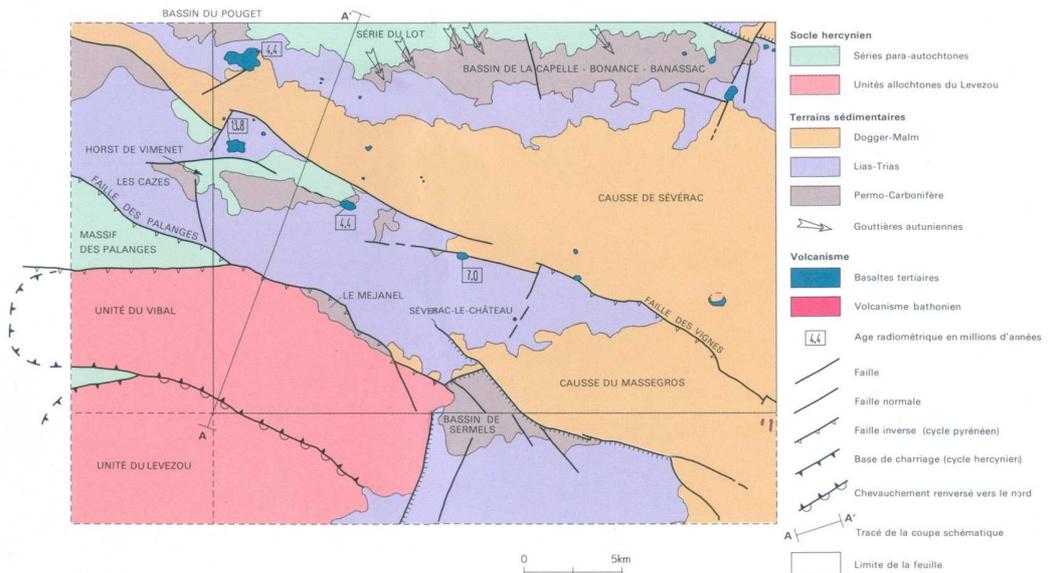


Figure 21 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Sévérac-le-Château

Nous avons choisi de regrouper les données en 10 zones géographiques réparties dans un rectangle de 25 Km dans une direction N-S et de 15 Km dans la direction E-W. Ces zones géographiques sont situées Figure 22 et Figure 23. Les données seront présentées par zones géographiques avant d'être interprétées dans le cadre morphostructural.

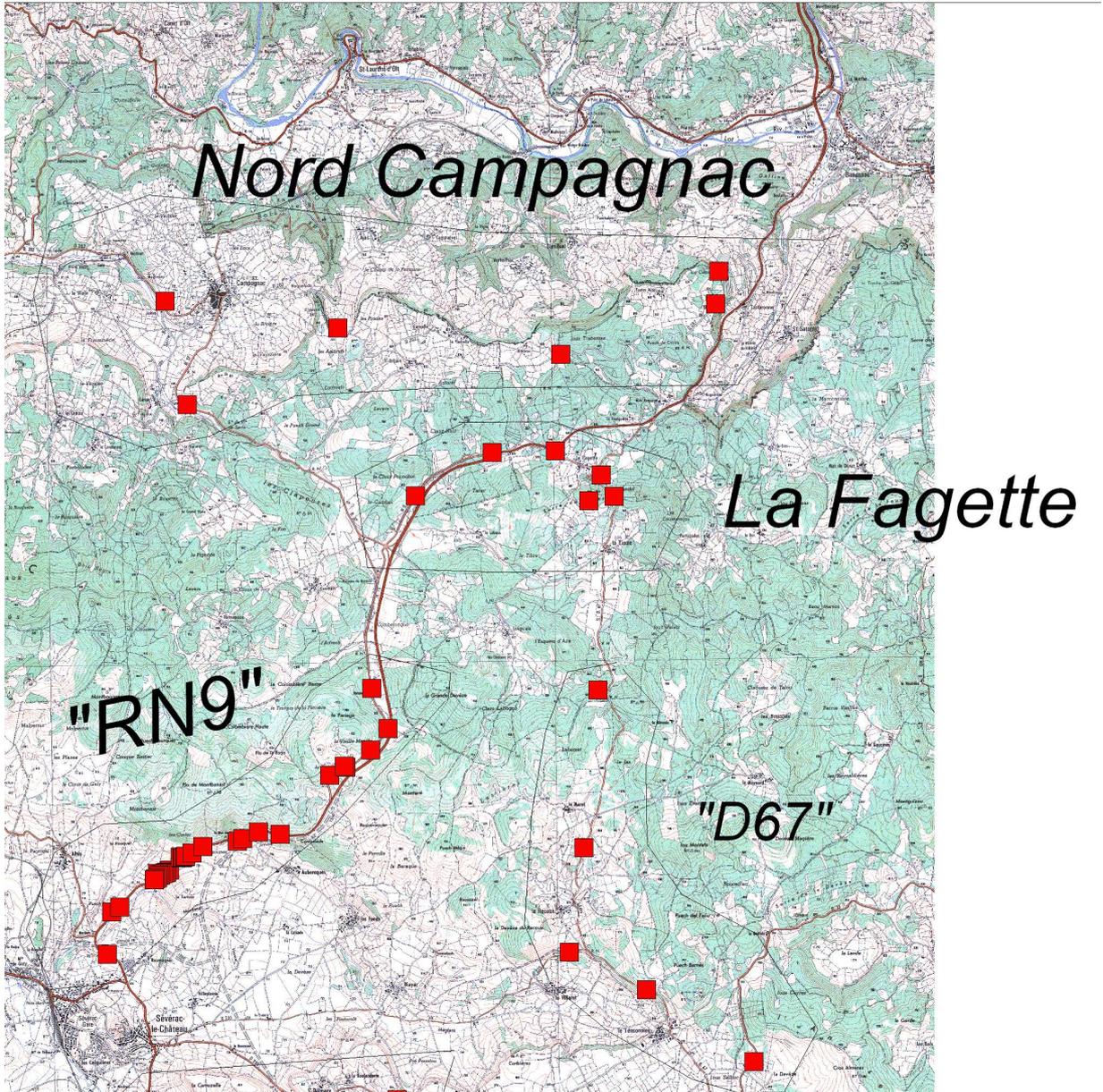


Figure 22 : Carte de localisation des secteurs pris en compte (1/2)

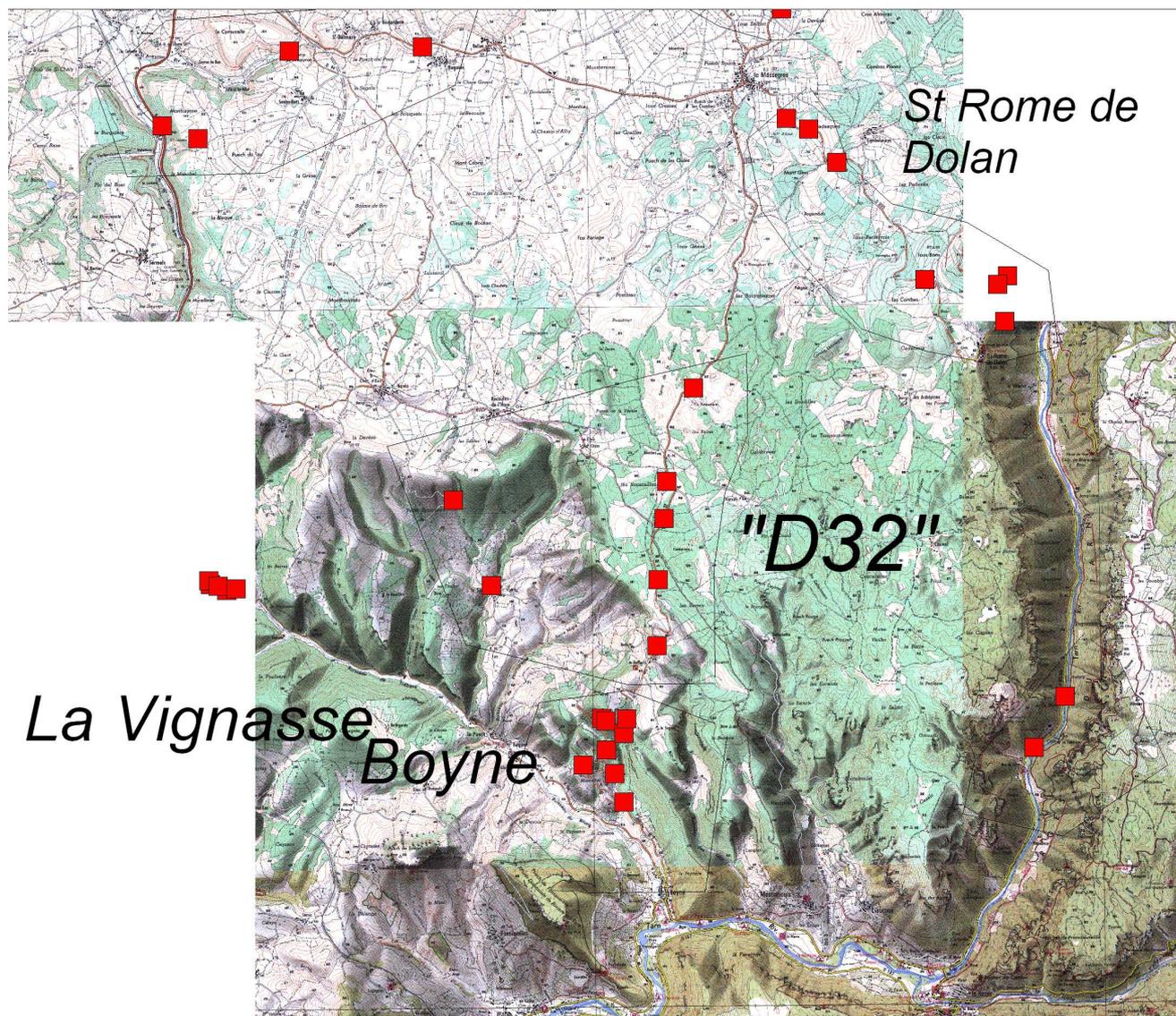


Figure 23 : Carte de localisation des secteurs pris en compte (2/2)

4.1.1 Analyse Microtectonique

L'analyse structurale que nous avons menée, se répartit géographiquement selon une direction N-S. En effet les structures régionales majeures sont orientées globalement N120E (failles des Vignes, des Palanges ...). On peut donc considérer que l'ensemble du secteur est correctement représenté puisque nos données ont été collectées selon une direction globalement perpendiculaire l'orientation de l'axe du plissement calculé à partir des données de pendage de la stratification des formations mésozoïques (123/4, Figure 24).

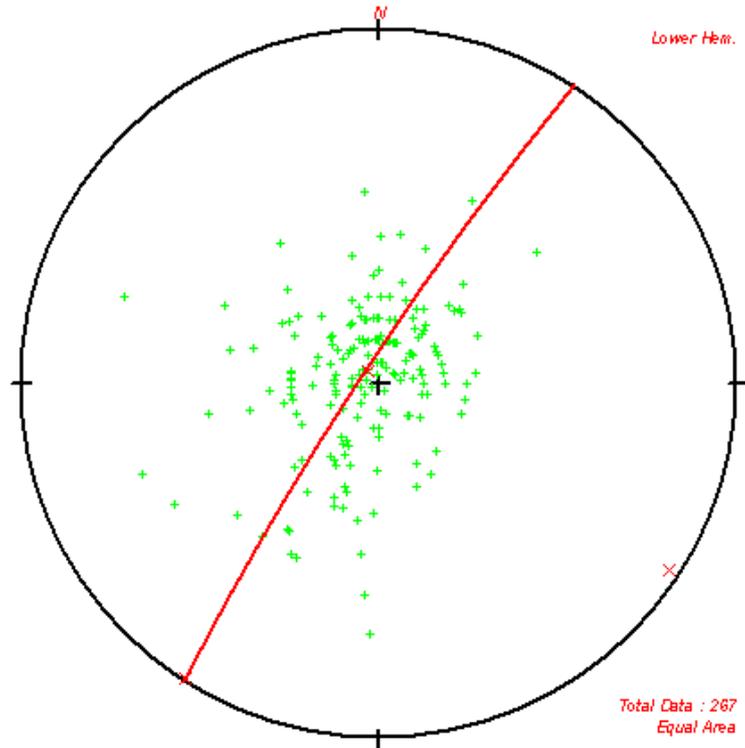


Figure 24 : Stéréogramme de Schmidt des pendages des formations mésozoïques montrant le meilleur grand cercle des pôles des plans de stratification et les trois axes de la matrice d'orientation (Eig 1=86/319, Eigenvalue : 229.63 ; Eig 2=1/213, Eigenvalue : 22.21 ; Eig 3 = 4/123 - axe du plissement, Eigenvalue : 11.16).

Pour chacun des sites identifiés (Figure 22 et Figure 23), nous proposons une présentation des données par des diagrammes de densité de chacune des familles de joints.

Du point de vue de l'analyse cinématique des plans de failles, comme dans la plupart des affleurements que nous avons étudiés, peu de surfaces ont pu être clairement caractérisées à l'aide de stries de calcite développées de manière syncinématique. Par ailleurs nous n'avons pas mis en évidence de d'intersection de fibres de calcite. Par conséquent, la chronologie relative des failles ne peut être déterminées de manière objective.

4.1.2 Interprétation

Il apparaît que dans les joints de fracturation ont des pôles majoritairement situés en bordure des stéréogrammes avec par conséquent des pendages forts. Ces pôles ont donc tendance à se rapprocher des grands cercles représentant la stratification. Cette relation suggère que la disposition en couches contient les axes σ_1 et σ_3 de l'ellipsoïde des contraintes. Pour chacun des diagrammes nous avons reconnus 4 familles (J1 à J4) de fractures. Toutes ces familles ne sont pas représentées par le même pourcentage notamment à cause de l'orientation des affleurements sur lesquels les mesures ont été effectuées, sont souvent des escarpements 2D. Cela reflète tout de même une répartition non équiprobable des orientations des fractures dans les différentes localités. Les plans moyens des familles fractures s'intersectent dans une zone proche de du pôle de la stratification moyenne. Cette subdivision en famille de plans a été étendue à l'ensemble de la région étudiée. En effet, J1, J2, J3 et J4 sont bien réparties sur l'ensemble de la région. La relation angulaire entre les différentes familles de joints est assez claire : J1 et J2 sont orthogonaux ; J3 et J4 sont diagonaux avec J1 qui correspond globalement à la bissectrice de l'angle aigu formé par J3 et J4 ; J2 à la bissectrice de l'angle obtus formé par J3 et J4 (Figure 26).

	Boyne	La Fagette	La Vignasse	D32	V.e du Tarn	St Rome	Sermeillets	D67	RN9	N-Camp.
J1	86/262	86/091	88/276	84/086	84/267	83/267	89/257	89/266	88/266	84/262
J2	86/177	86/003	90/183	61/006	86/005	86/001	86/004	73/357	89/182	85/007
J3	80/308	89/127	88/305	73/311		81/311	90/319	80/307	88/130	87/313
J4	78/229	89/222	89/225	79/227	81/226	88/054	75/040	86/052	86/228	87/043

Figure 25 : Tableau récapitulatifs des différents plans moyens des familles de joints J1 à J4

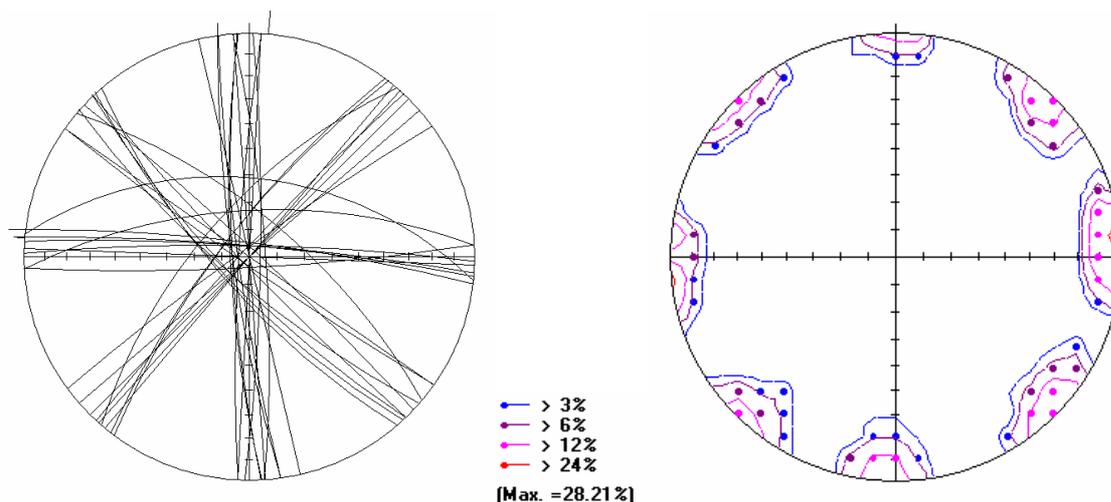
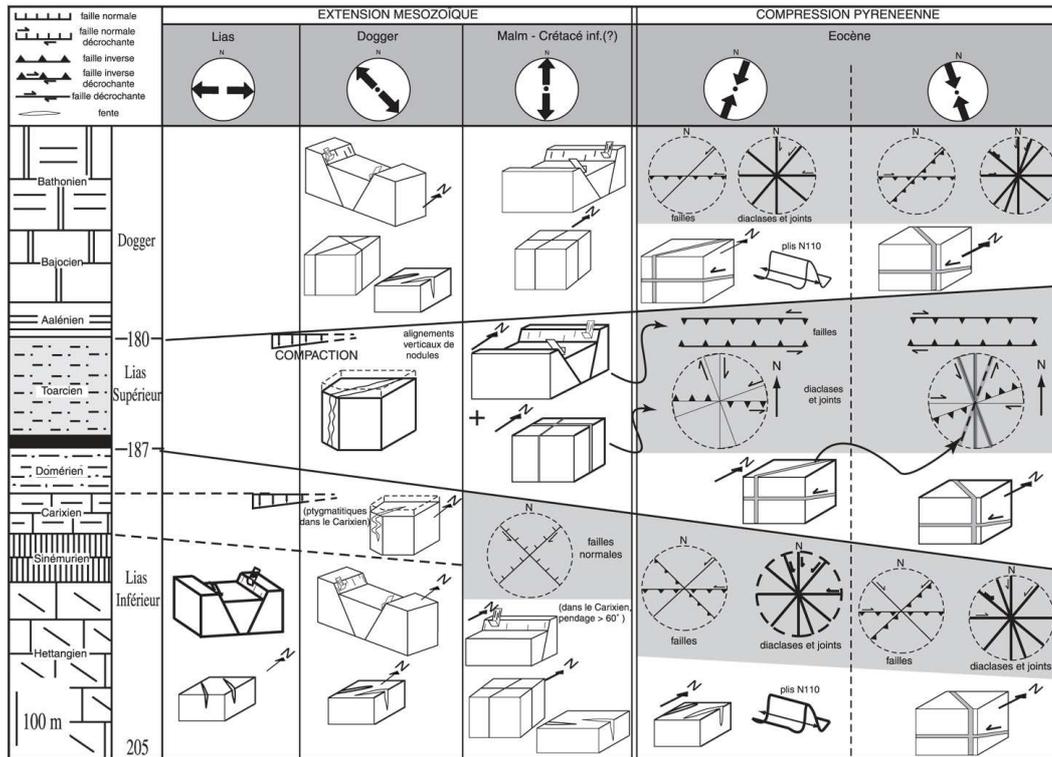


Figure 26 : Représentation cyclographique des plans moyens et de densité des pôles moyens pour l'ensemble des sites étudiés.

Du point de vue de la cinématique de la formation des ces fractures il peut être intéressant de se reporter au travail de Constantin et al., (2002) qui propose un calendrier de déformation basée sur l'inversion des failles située plus au sud mais affectant des séries comparables.



Bull. Soc. géol. Fr., 2002, n° 3

Figure 27 : Cinématique de la fracturation dans les Causses méridionales (Constantin et al., 2002).

Comme le secteur que nous avons étudié présente peu de stries sur les surfaces de failles et encore moins d'éléments permettant d'établir au moins une chronologie relative. Nous nous baserons sur les travaux de Constantin et al (2002) et les comparerons avec nos propres résultats. Au cours du Mésozoïque le bassin des Causses est soumis à une extension dont la direction est E-W au Lias, NE-SW au Dogger puis N-S au Malm et pendant le Crétacé inférieur. Les fractures J2 ont donc pu s'ouvrir durant la première phase, les fractures J3 pendant la seconde et les fractures J1 durant la dernière phase extensive. Les tenseurs reconstruits par Constantin et al., (2002) se retrouvent sur certains sites de mesures et ce notamment pour la phase Pyrénéenne. Il est clair que durant les phases tectoniques successives les joints ont pu s'ouvrir ou se fermer selon leur orientation. Les travaux menés au laboratoire font état du même type d'orientation des contraintes pour la zone de la Grésigne située plus au Nord de notre zone d'études. Les joints de la famille J2 on dans cette zone fonctionné en ouverture (Figure 28).

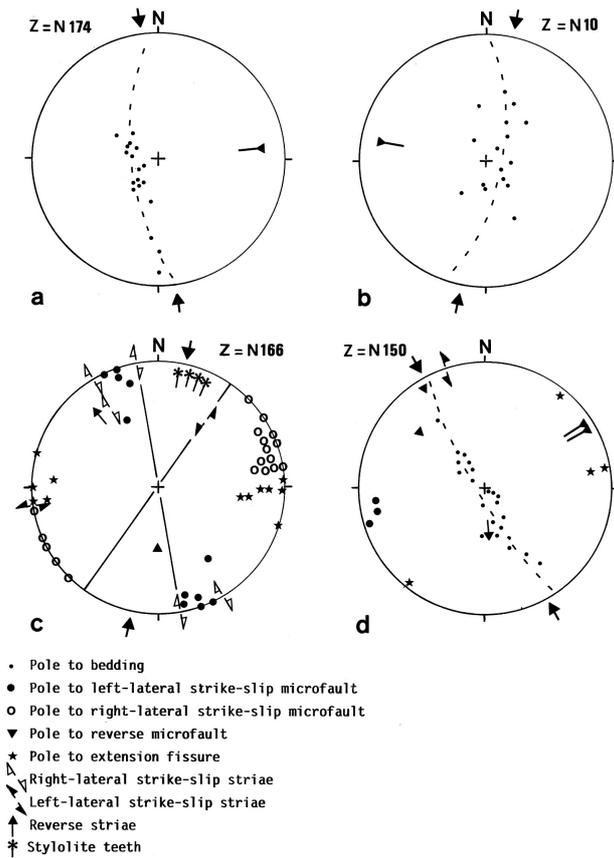


Figure 28 : Reconstruction du champ de contraintes dans la région de la Grésigne (Inglès et al., 1999)

Une autre remarque sur l'évolution du système est que durant l'exhumation des Causses une relaxation générale s'est très certainement opérée au moins dans la première centaine de mètres permettant l'ouverture de la plupart des fractures. Il nous est possible de proposer selon les mesures effectuées une représentation 3D des fractures sur le secteur en considérant les fractures réparties entre la surface topographique et un niveau repère situé à une profondeur de quelques centaines de mètres (Figure 29).

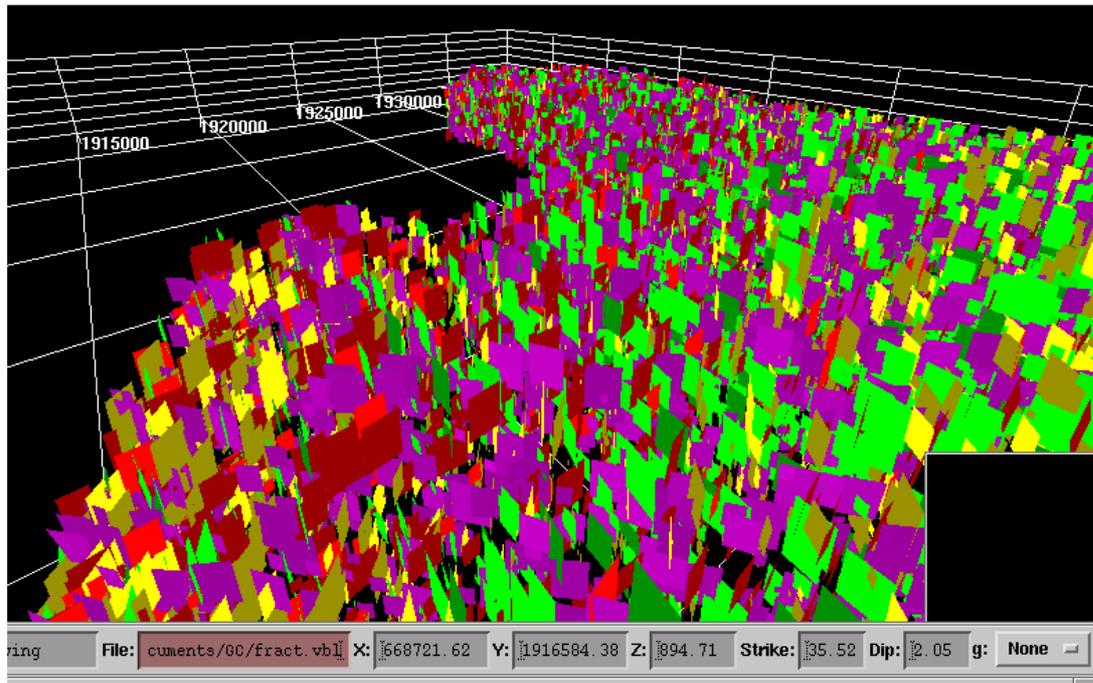


Figure 29 : Représentation 3D des fractures dans la première centaines de mètres (exagération verticale = 2.5). L'ensemble du secteur est considéré. Les couleurs des fractures sont les mêmes que celles des différents sites : J1-rouge, J2-vert, J3-violet, J4-jaune.

4.1.3 Analyse des coupes

Six coupes ont été réalisées perpendiculairement à la direction des axes des plis (Figure 24). Les données utilisées ont été extraites des cartes du BRGM et numérisées de manière à être utilisées dans les logiciels de géologie structurale employés. Cette numérisation consiste en l'extraction de l'azimut du pendage et en la saisie de ce pendage. Ces données ont été complétées par nos propres mesures. L'attribution des altitudes est obtenue par recouplement des localisations (X, Y) de la carte numérisée et du MNT (X, Y, Z) sur lequel, sont drapées les cartes géologiques fournies. Les épaisseurs utilisées sont données sur la Figure 31.

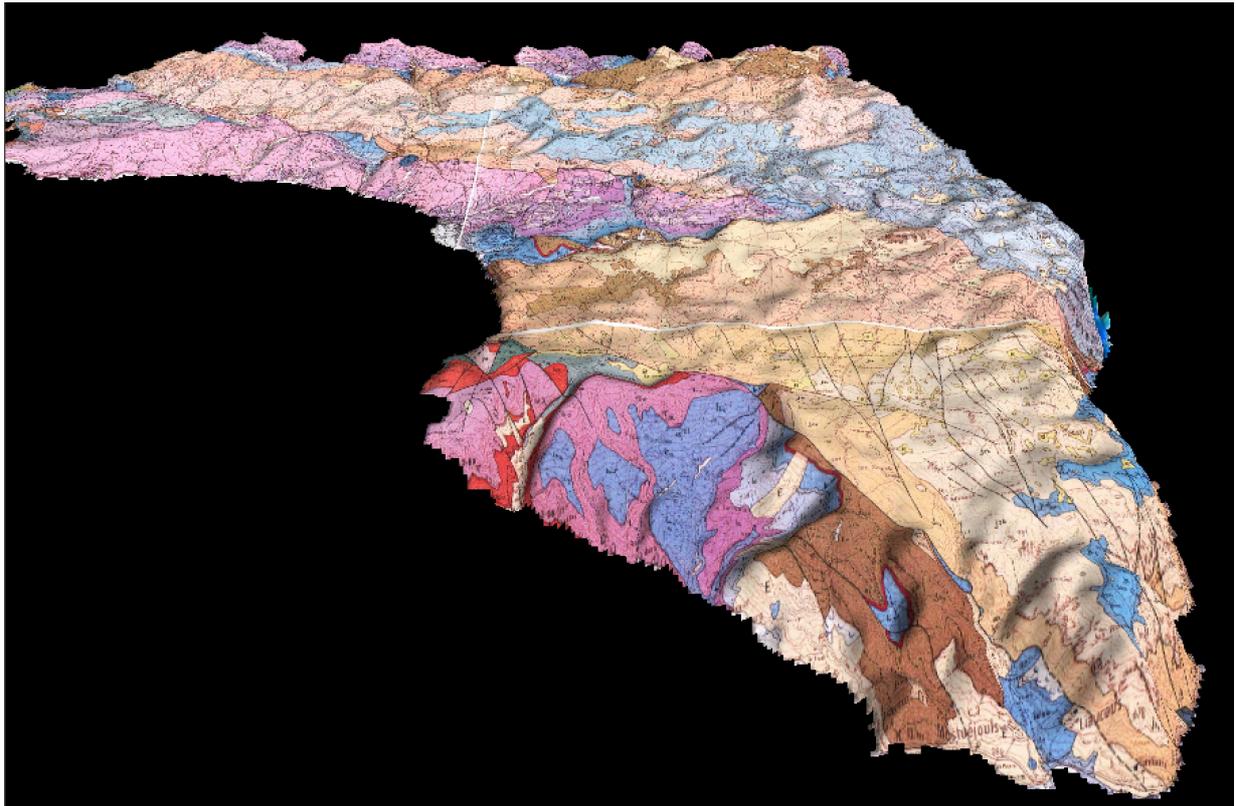


Figure 30 : Carte géologique drapée sur le MNT.

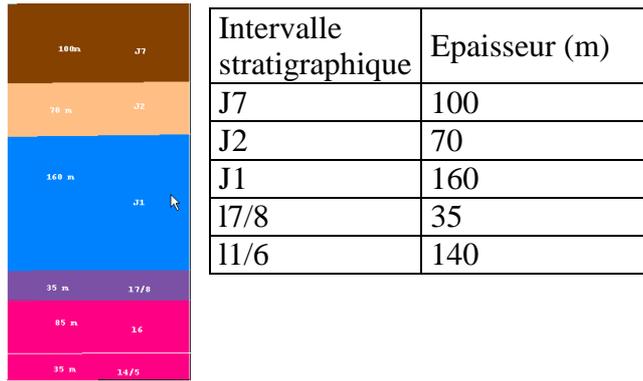


Figure 31 : Légende des coupes et tableau des épaisseurs utilisées pour la constructions des coupes

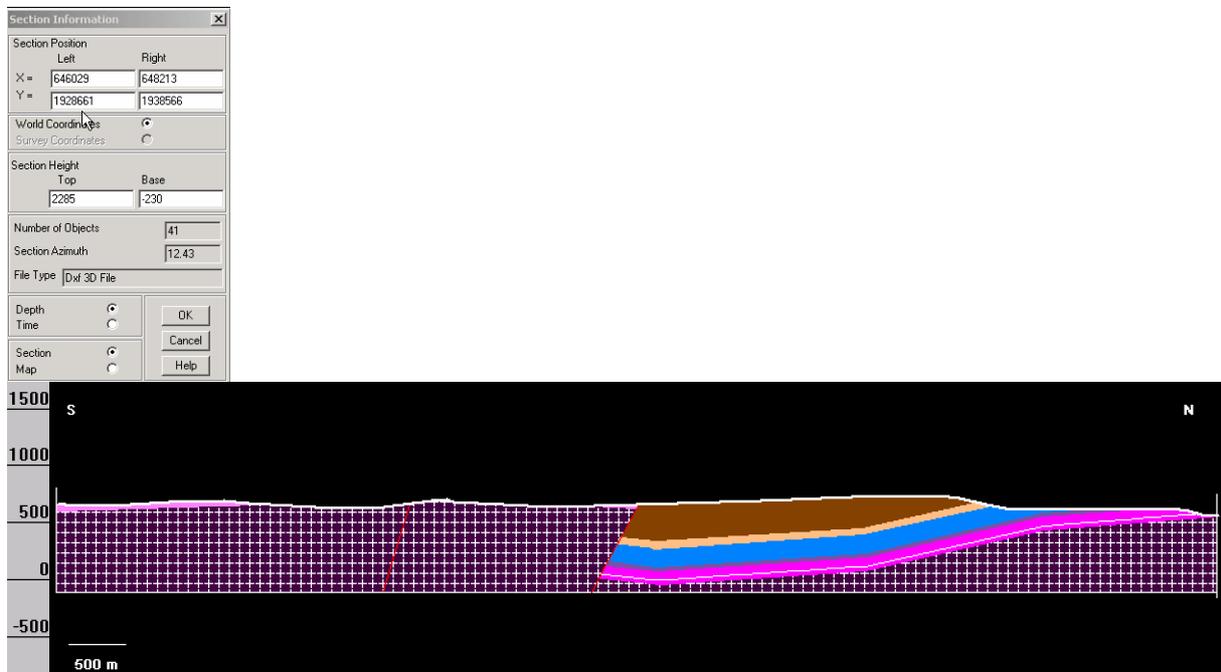


Figure 32 : Position de la coupe 1 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 1 sans exagération verticale

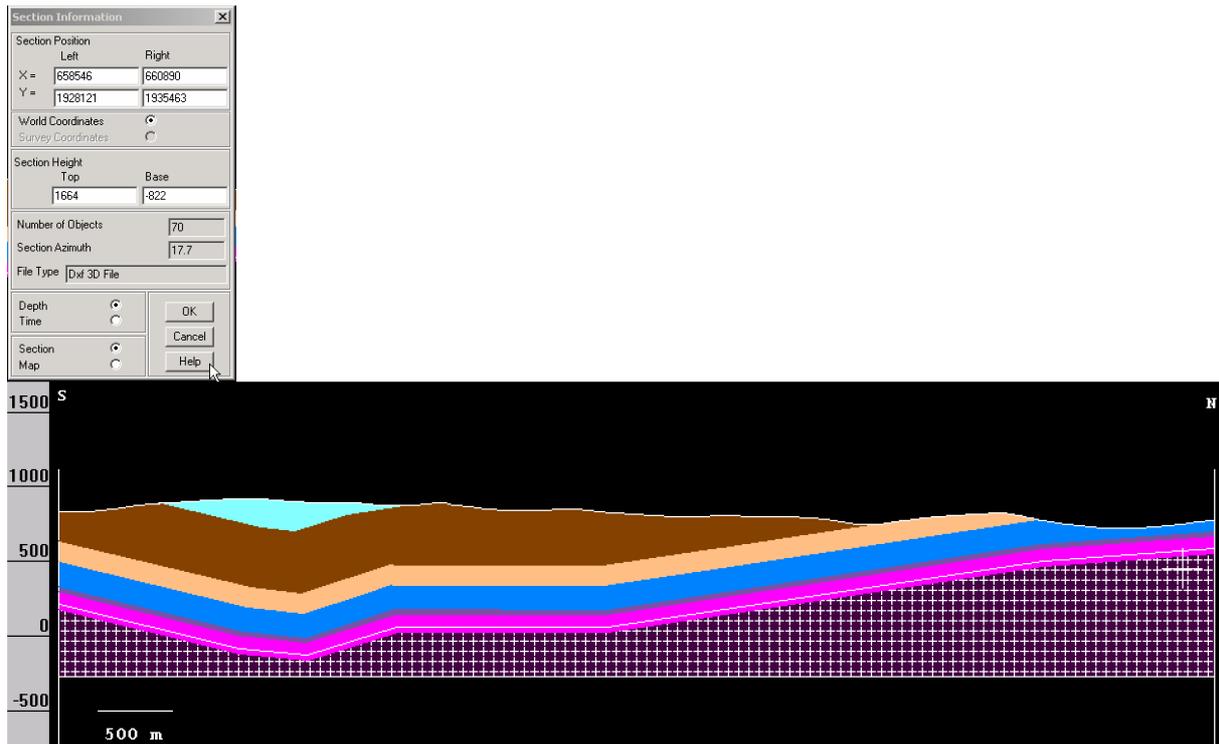


Figure 33 : Position de la coupe 2 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 2 sans exagération verticale

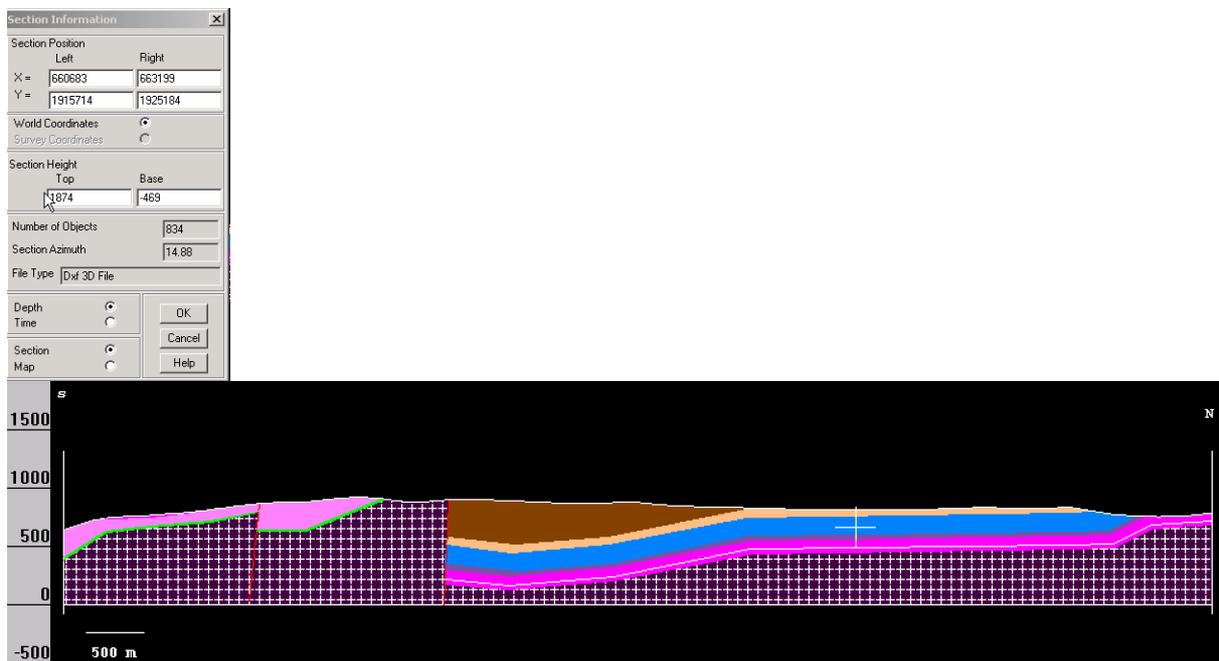


Figure 34 : Position de la coupe 3 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 3 sans exagération verticale

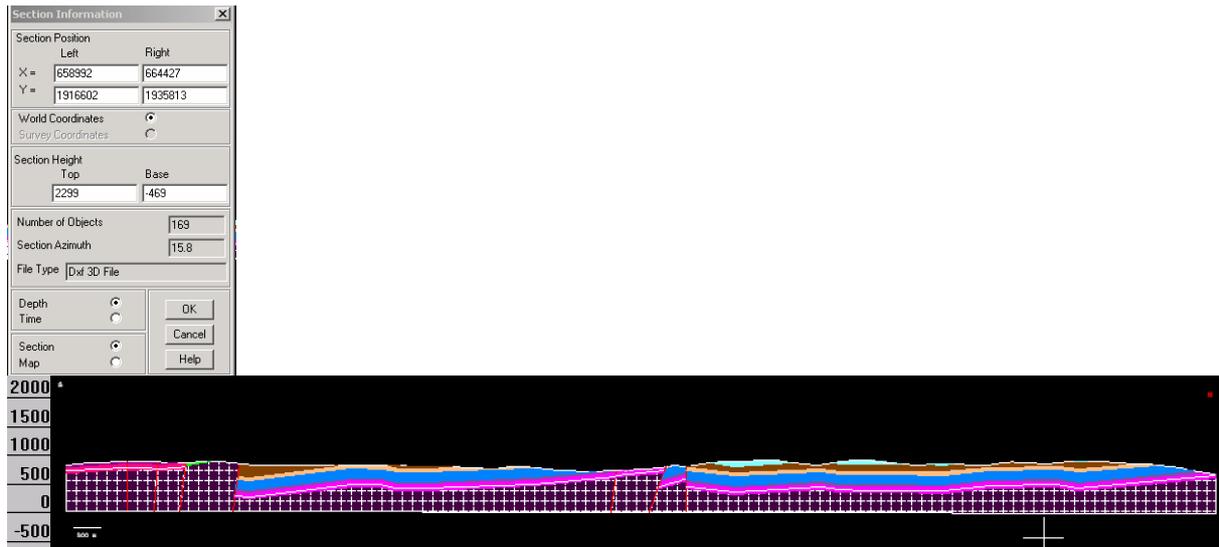


Figure 35 : Position de la coupe 4 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 4 sans exagération verticale

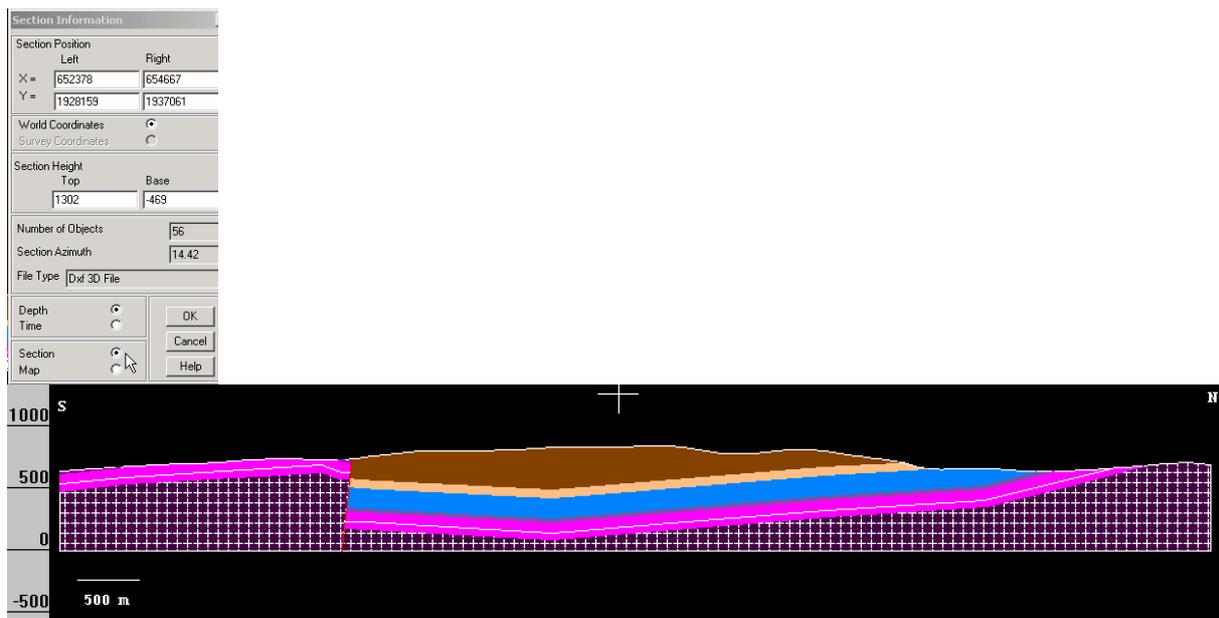


Figure 36 : Position de la coupe 5 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 5 sans exagération verticale

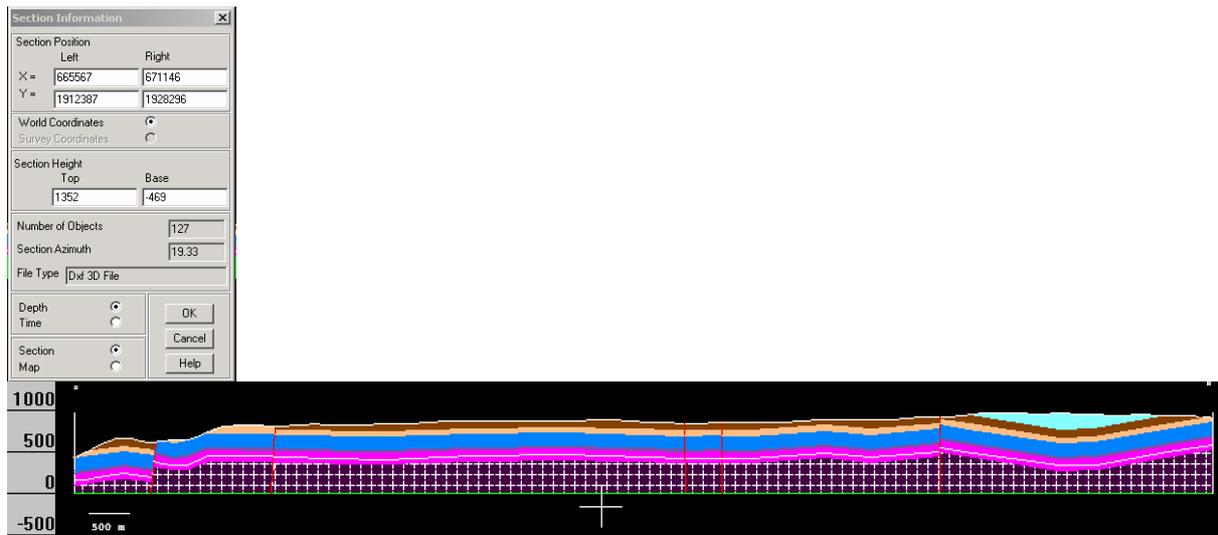


Figure 37 : Position de la coupe 6 (les coordonnées sont données en système français du méridien de Paris-Carto II) - Coupe 6 sans exagération verticale.

Les structures plicatives que l'on rencontre sont des ondulations de $\frac{1}{2}$ longueurs d'onde kilométrique. Ces ondulations sont peu prononcées puisque les angles d'interflanc sont globalement forts. Les failles telles qu'elles apparaissent sur les cartes géologiques utilisées ont des pendages forts et sont majoritairement des failles inverses redressées. On rencontre tout de même quelques failles normales sont probablement héritées de l'extension mésozoïque. Le style structural est un style en inversion structurale positive où des failles normales probablement mésozoïques sont reprises par le système compressif d'origine pyrénéenne. D'après nos constructions le socle hercynien semble de moins en moins profonds à mesure que l'on se déplace vers l'Est.

4.2 Analyse de la géologie

Les formations sédimentaires qui affleurent dans le secteur concerné sont essentiellement rapportées au Jurassique. Cette série mésozoïque est transgressive sur un substratum formé d'une part par un socle d'affinité hercynienne et d'autre par des séries permienne qui sont circonscrite à des bassins extensifs postorogéniques.

Du point de vue stratigraphique on peut définir plusieurs ensembles, le socle hercynien, les formations permienne et l'ensemble transgressif mésozoïque.

Le socle Hercynien : Au sud du secteur d'étude, il est essentiellement métamorphique avec des associations gneissiques (Ortho et para gneiss de l'unité du Vibal), granodioritiques (granodiorite métamorphique de la Clau), amphibolitique et métagabbroïques. Un métamorphisme de haute pression ayant la même affinité que celle du dôme du Lézou est aussi présent. Au Nord, ce socle est représenté par des micaschistes à grenat, biotite, staurotide et andalousite et par des schistes à chlorite entrecoupés de métadiorites quartziques.

Cet ensemble appartient à la partie médiane du prisme orogénique hercynien qui se développe en direction du Sud.

Les bassins permians : A la faveur de l'extension postorogénique, des blocs basculés permians connus comme détroit de Rodez, ont reçu une sédimentation continentale. Du point de vue stratigraphique, les séries grises sont rapporté à l'Autunien tandis que les séries rouge lie de vin sont elles considérées comme d'âge Saxonien. Le peu de fossiles livré par ces niveaux rend l'étalonnage stratigraphique incertain. Néanmoins, des corrélations avec les séries du bassin de Lodève semblent corroborées un tel découpage. La série autunienne est globalement détritique. Elle débute par des dépôts de faible extension géographique granodécroissants. Elle est recouverte par un ensemble plus continu transgressif sur le socle qui débute par un conglomérat de base à galets de rhyolite. Ensuite se développe la série autunienne qui comprend une série détritique dite inférieure, une série carbonatée et une série détritique supérieure gréseuse puis pélitique. Respectivement il s'agit de faciès fluviatiles conglomératiques et gréseux, de calcaires latéralement équivalent à des pélites de plaine d'inondation parfois charbonneuses, des grès et pélites fluviatiles. Le Saxonien est caractérisé, comme la plupart des dépôts permians du sud de l'Europe occidentale par sa couleur rouge dominante qui tranche avec la couleur grise de l'Atunien. Cette série est marquée par le fonctionnement synsédimentaire de failles normales qui modifient le profil de dépôt en occasionnant des variations d'épaisseurs et de faciès importantes depuis des conglomérats de bas de pente vers des pélites de plaine d'inondation.

L'ensemble transgressif mésozoïque présente la caractéristique générale d'une réduction d'épaisseur d'est en ouest.

Il débute par les formations gréseuses du Rhétien-Hettangien inférieur de faible épaisseur. Elles consistent en une série d'altération siliceuse présentant localement des dragées de quartz. La série carbonatée débute à l'Hettangien-Sinémurien par une succession de trois unités à dominante dolomitique. Cette succession se traduit par des dolomies à grains fins qui s'intercalent avec des joints argilo-marneux. Ensuite on retrouve un ensemble de séquences élémentaires répétitives à microbrèches, calcarénites, dolomies lithographiques. La dernière unité d'âge Sinémurien probable est constituée d'une série rythmique dont le motif élémentaire est représenté par des dolomies gréseuses, des dolomies à grains fins couronnées par des argiles laminées présentant des figures d'émergence. L'unité médiane constitue en termes de puissance l'assise la plus importante. Le Lotharingien est représenté sur le secteur par une alternance de dolomies fines et de calcarénites oolithiques. A nouveau cette série présente des indices d'émergence qui se traduit par la présence de figure de karstification et de dolomitisation. Le Carixien est une alternance régulière de séries de plate-forme bathydécroissante avec des répétitions marno-calcaires typiques. Les marnes grises du Domérien sont des argiles carbonatées de couleur sombre qui sont encadrées par des ensembles calcaires à la base et au sommet. Cet étage est aussi représenté par des calcaires massifs de faible puissance. Le Toarcien est représenté dans sa partie inférieure par la formation des schistes cartons, parfois bitumineux et localement entrecoupée par des bancs calcaires. Le Toarcien moyen et supérieur se traduit par des argiles calcareuses gris noir.

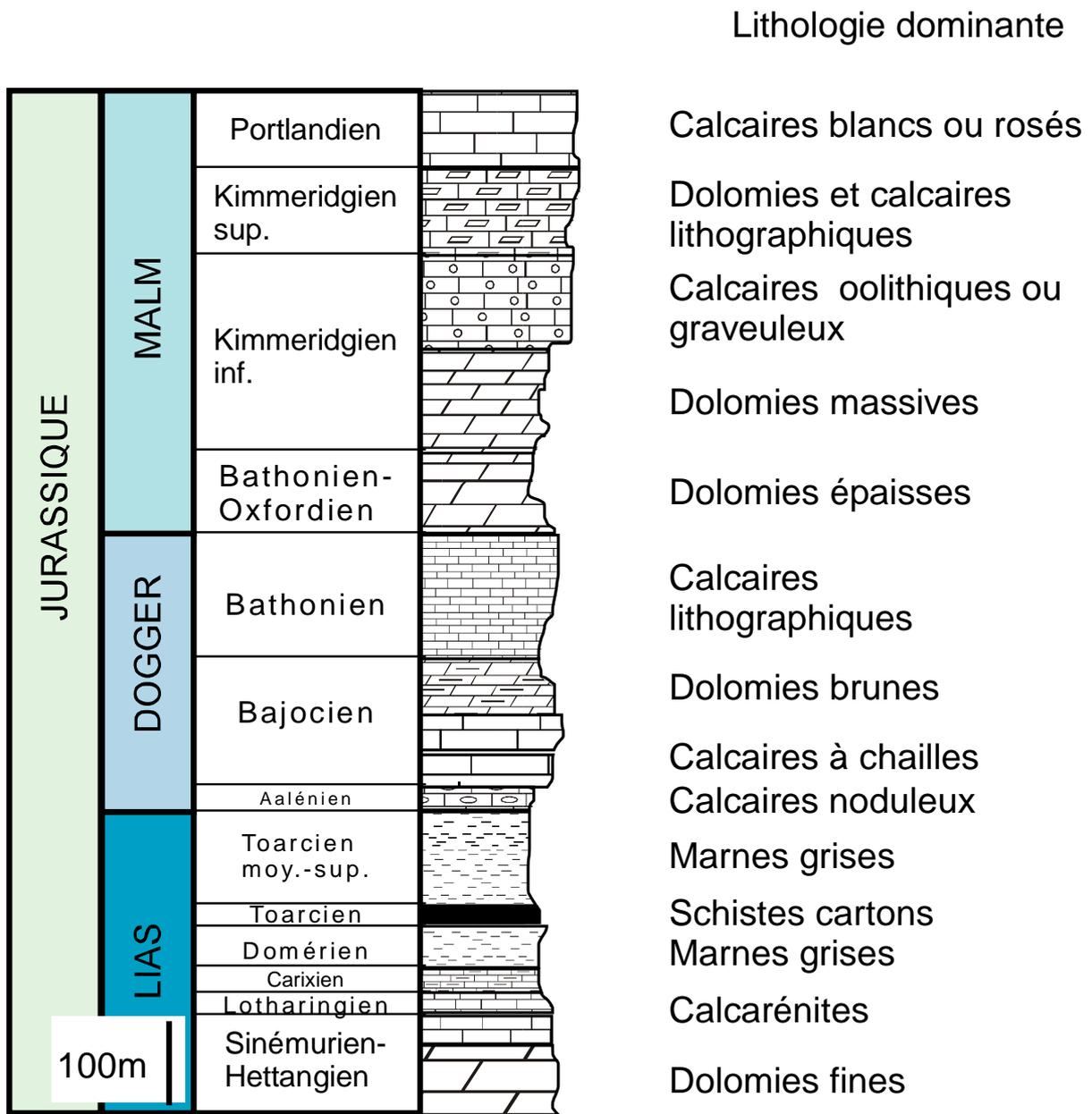


Figure 38: Coupe synthétique du Jurassique des Causses

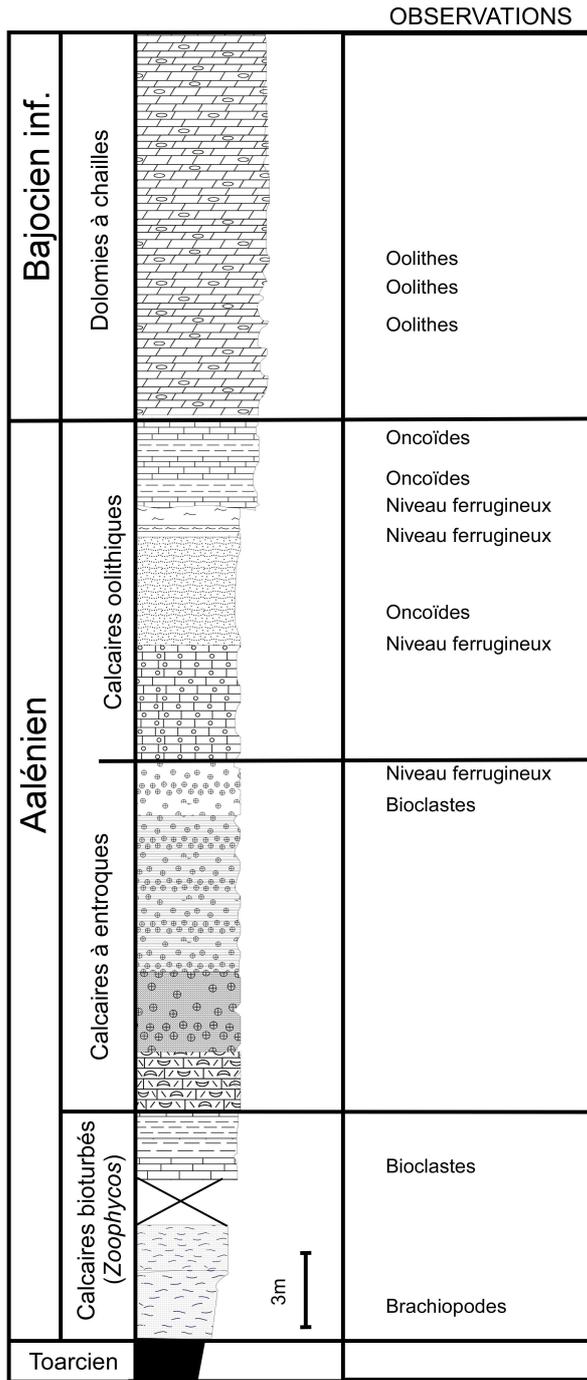


Figure 39: coupe de Campagnac de l'Aalénien et du Bajocien inférieur

L'Aalénien présente une succession à petits bancs de calcaires noduleux referme souvent des géodes de calcites. Localement des concentrations faunistiques de type lumachelliques sont signalées. Le Bajocien se décompose en une série à dominante calcaires parfois oolithiques, à accidents siliceux et bioclastes et une série dolomitique massive et cristalline. Cet ensemble dolomitique augmente en direction de l'ouest. Le bathonien comprend des calcaires lithostratigraphiques finement laminés. Un épisode volcanique limite à la base cet ensemble.

Le Bathonien-Oxfordien se présente sous la forme d'une puissante série dolomitique majoritairement cristalline quoique devenant carbonatée au sommet. Le Kimméridgien inférieur et supérieur montre une succession à dominante calcaire. Les bancs sont de faible épaisseur à la base et la série devient ensuite stratocroissante. Cette série jurassique montre d'importante figure de paléokarst. Après un épisode subaérien créacé, cet ensemble la partie supérieure du créacé semble transgressive su la pile jurassique avec des faciès estuarien remplissant des vallées incisées. Cette période transgressive prélude la mise place au sud de la mer paléocène.

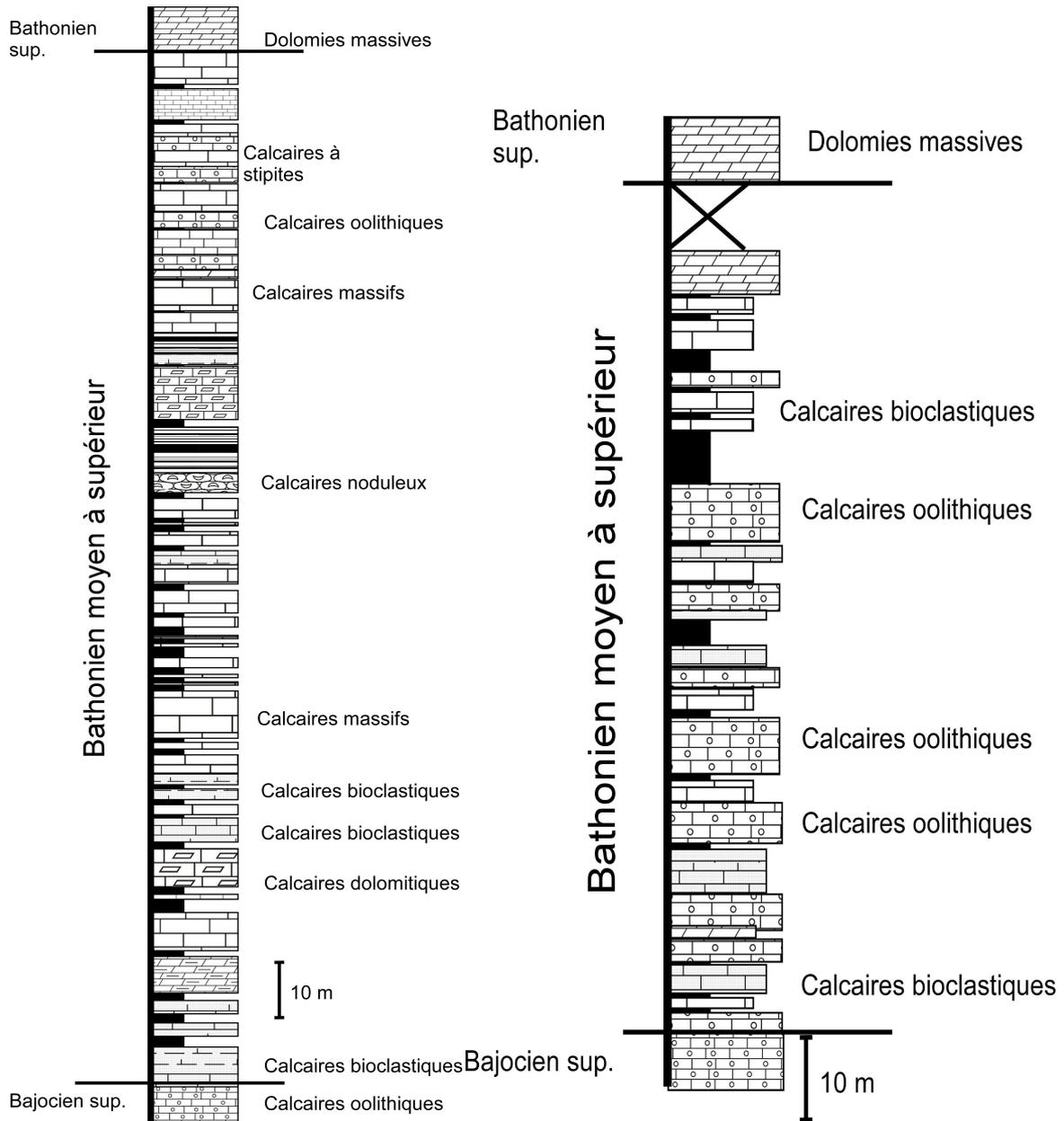


Figure 40: Coupes des Vignes et de la Canourgue illustrant les dépôts des séries bathoniennes

4.3 Analyse des hydrogrammes et des débits

4.3.1 Les débits des sources principales

Les stations de mesures ont permis l'acquisition de hauteurs, puis de débits grâce à la courbe de tarage, sur au moins deux cycles hydrologiques (cycles 2002-2003 et 2003-2004).

Le débit journalier moyen, le débit journalier minimum et le débit journalier maximum ont été calculés (cf. Figure 41).

Il en ressort que 6 sources possèdent un débit journalier moyen supérieur à 100 l/s. Il s'agit de Fontmaure, Rouveyrol et Beldoire situées dans la vallée du Tarn, Lestang, Ségala et Mayrinhac issues du Causse de Sévérac. La source de Beldoire n'arrive qu'en 4^{ième} position mais son débit est bien plus supérieur. En effet, la plupart des sorties sont situées directement dans le lit du Tarn (donc non mesurables) et apparaissent nettement supérieures à l'exurgence mesurée.

En ce qui concerne le débit journalier minimum, on retrouve Fontmaure avec un débit égal à 0 l/s (c'est en effet un trop plein qui ne fonctionne qu'en période de hautes eaux). Le débit mesuré de Roquaizou est égal à 0 l/s car l'ensemble du débit est prélevé au niveau du captage, son débit journalier minimum est donc égal au débit prélevé, soit 3 l/s.

Les débits journaliers maximums les plus importants correspondent aux sources de Fontmaure (9.48 m³/s), Lestang (3.41 m³/s) et Beldoire (3.05 m³/s).

Station	Q _j moyen mesuré (l/s)	Q _j moyen naturel (l/s)	Station	Q _j min mesuré (l/s)	Q _j min naturel (l/s)	Station	Q _j max mesuré (l/s)	Q _j max naturel (l/s)
Roquaizou	21	23	Fontmaure	0	0	Buzareingues	107	107
Verlenque	25	25	Serre	1	1	Cayrac	215	222
Buzareingues	27	27	Roquaizou	0	3	Glassac	223	223
Serre	32	32	Duc	3	3	Mas de Lafon	300	300
Bastide	38	38	Buzareingues	5	5	Esparses	354	357
Tantayrou	50	50	Courtinaux	5	5	Bastide	359	359
Mas de Lafon	51	51	Glassac	6	6	Tantayrou	392	392
Duc	53	53	Verlenque	9	9	Duc	460	460
Glassac	57	57	Esparses	8	17	Serre	530	530
Esparses	64	67	Bastide	15	15	Roquaizou	559	561.5
Courtinaux	79	79	Segala	18	18	Verlenque	900	900
Cayrac	77	84	Mayrinhac	21	30	Rouveyrol	1010	1010
Mayrinhac	152	155	Lestang	18	27	Mayrinhac	1010	1013
Segala	214	214	Tantayrou	30	30	Courtinaux	1300	1300
Lestang	241	251	Mas de Lafon	33	33	Segala	2400	2400
Beldoire	326	326	Cayrac	45	52	Beldoire	3050	3050
Rouveyrol	517	517	Beldoire	55	55	Lestang	3410	3420
Fontmaure	740	740	Rouveyrol	450	450	Fontmaure	9480	9480

Figure 41 : Débits moyens journaliers

Si on s'intéresse au rapport $Q_j \text{ max}/Q_j \text{ min}$, indicateur d'une régulation et de la karstification, on s'aperçoit que c'est la source de Cayrac qui possède le rapport le plus bas, signe d'une karstification peu développée et/ ou d'une régulation des débits importante.

A l'inverse, on trouve des rapports supérieurs à 100, indice d'une karstification prononcée. C'est le cas des sources suivantes ; les Courtinaux, Roquaizou, Serre, Lestang et Verlenque.

Station	Rapport Qj max/ Qj min	Station	Rapport Qj max/ Qj min
Cayrac	3	Duc	60
Mas de Lafon	8	Segala	87
Tantayrou	15	Verlenque	100
Esparses	15	Lestang	112
Rouveyrol	20	Serre	228
Bastide	22	Roquaizou	267
Glassac	24	Courtinaux	339
Buzareingues	33	Fontmaure	Trop plein
Mayrinhac	33		
Beldoire	35		

4.3.2 Les hydrogrammes

Ils sont présentés par secteur géographique sur deux cycles hydrologiques (2002-2003, 2003-2004) :

1^{er} secteur : Partie sud du Causse de Sévérac : Buzareingues, Esparses, Mayrinhac, Ségala, Tantayrou;

2^{ème} secteur : Partie nord du Causse de Sévérac : Courtinaux, Lestang, Duc, Glassac, Roquaizou, Serre ;

3^{ème} secteur : Partie Gorges du Tarn : Fontmaure, Beldoire, Rouveyrol (sauf Mas de Lafon) ;

4^{ème} secteur : Partie ouest du Causse du Massegras : Cayrac, Bastide, Verlenque et Mas de Lafon.

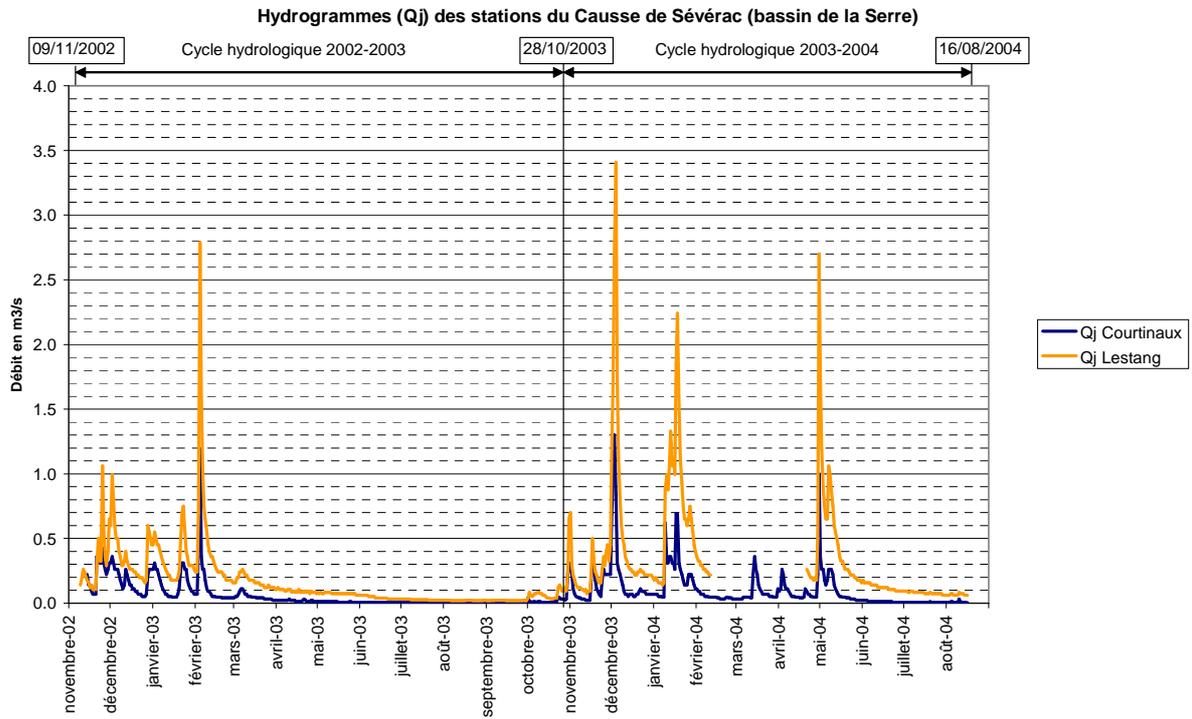
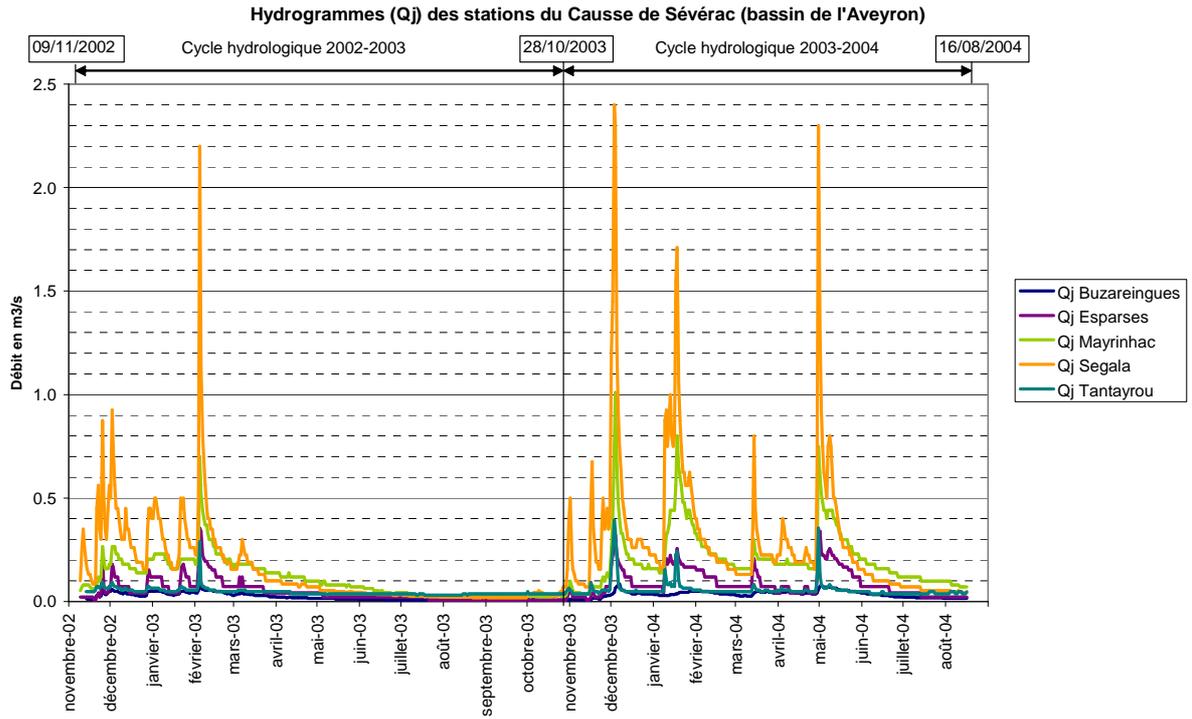
Le comportement hydraulique des sources dépend bien sûr des précipitations. L'ensemble des sources étudiées comporte une composante immédiate dans l'écoulement puisque on note la présence de crues dont les montées sont rapides (cf. Figure 42).

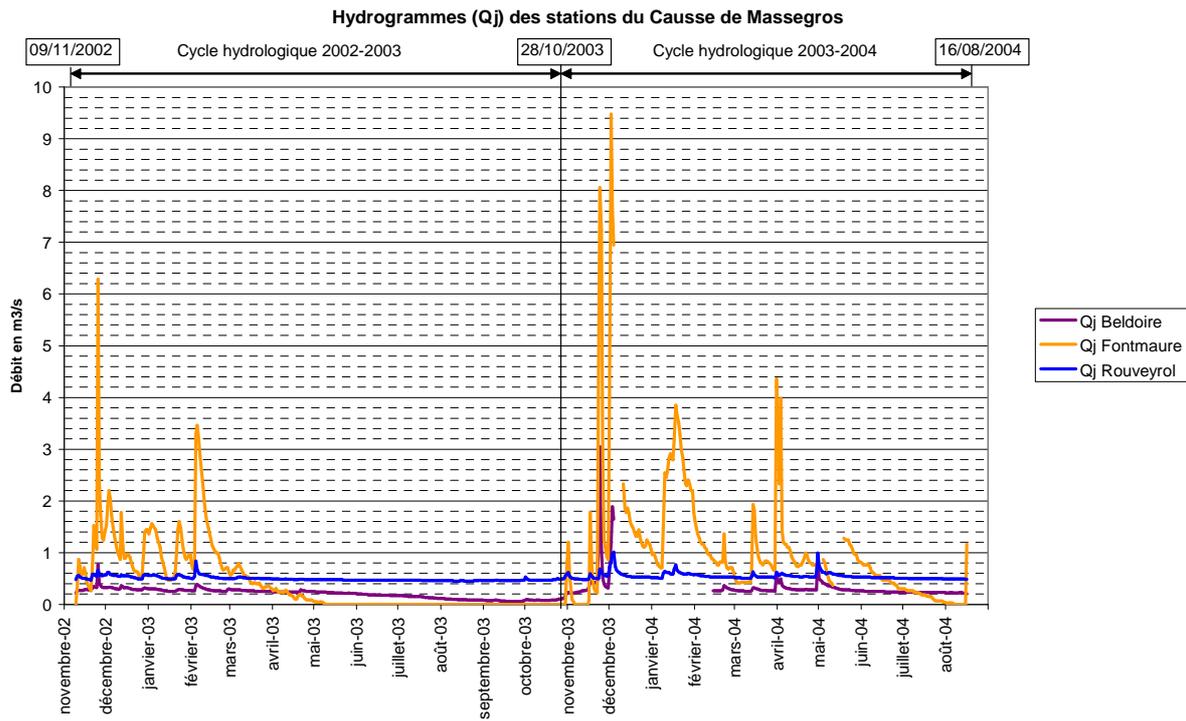
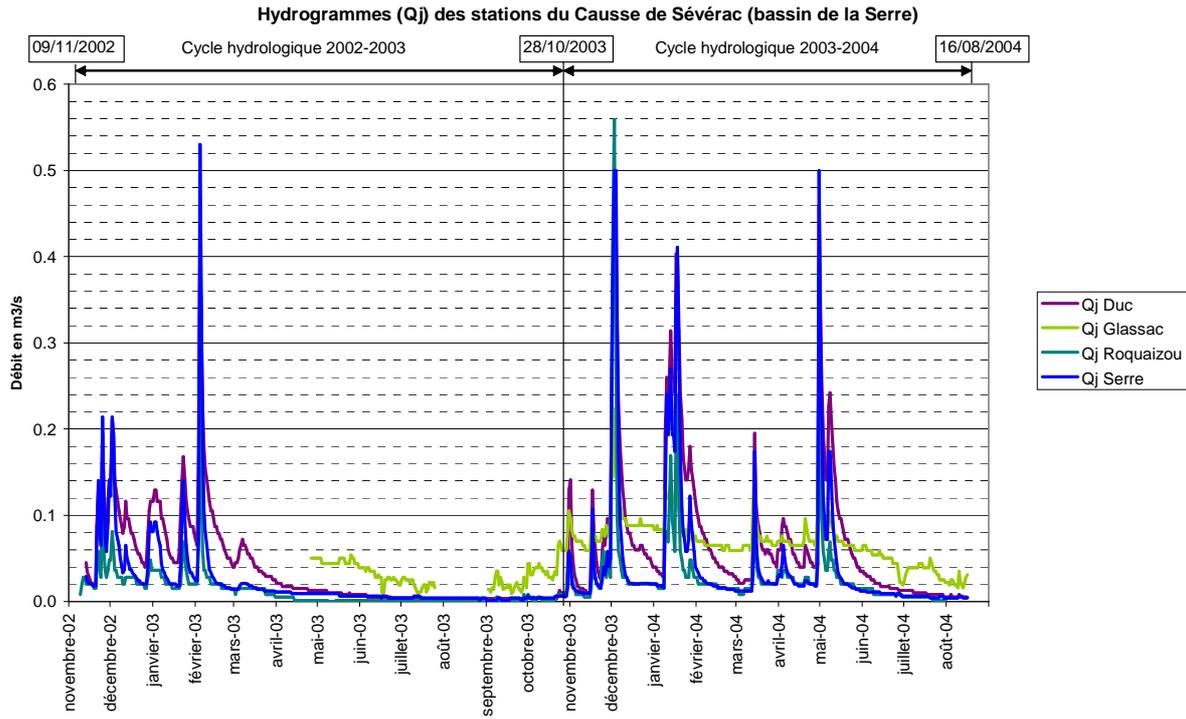
La source de Glassac présente une évolution particulière des débits liée à une alimentation par la Serre depuis le trou du Soucis.

La chronique de Rouveyrol apparaît également singulière. Ceci est sans doute à corréliser aux mesures effectuées au niveau de la Vasque qui ne permettent pas d'obtenir des variations précises.

Au niveau hydrologique, le cycle 2002-2003 a débuté le 9 novembre 2002 et s'est terminé le 28 octobre 2003. Ce cycle a été pluvieux jusqu'en avril 2003, date du début de l'étiage.

Le cycle suivant a été plus pluvieux avec de nombreuses crues en hivers et au printemps. Il s'est achevé au mois d'août 2004.





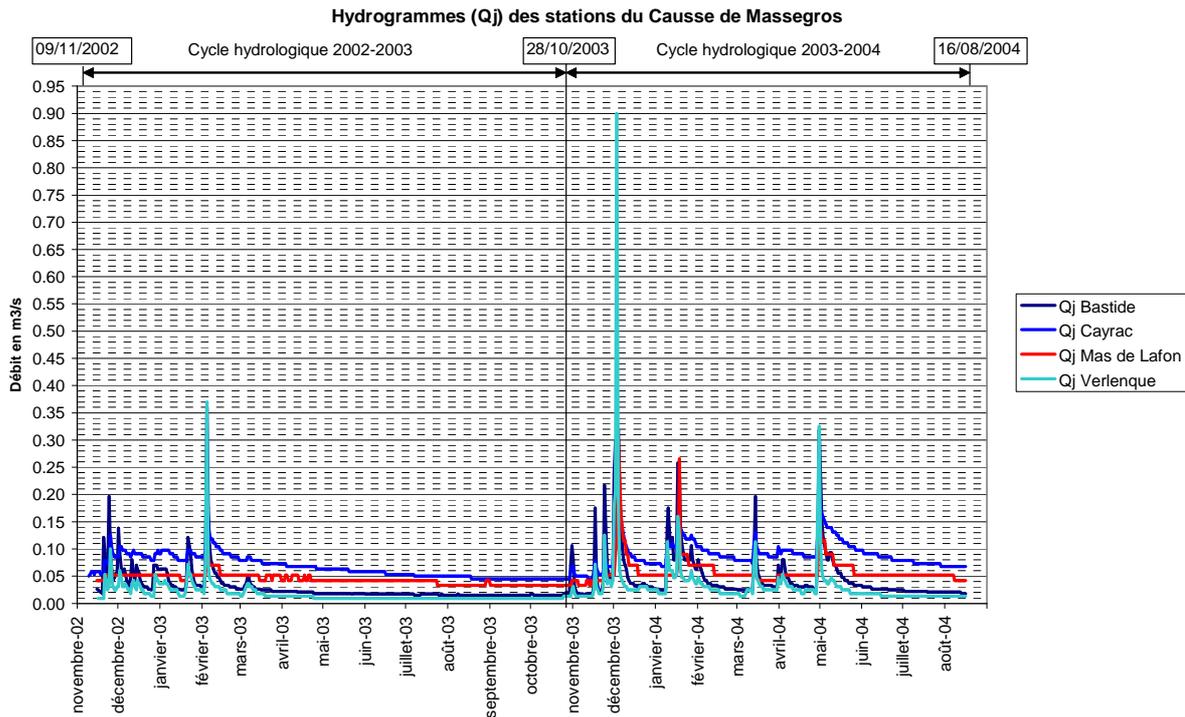


Figure 42 : Les hydrogrammes des sources

4.3.3 Débits classés

4.3.3.1 Théorie

* Cette méthode a pour but de révéler certaines anomalies de fonctionnement de l'ensemble "aquifère + station de jaugeage", afin d'en cerner les origines : apports allochtones, fuites, débordements,... On construit à cet effet une courbe qui met en relation des classes de débits moyens journaliers avec la fréquence d'observation de ceux-ci (% nombre de jours) tout au long d'une chronique (choisie la plus longue possible...)

* Toute rupture de pente sur cette courbe est généralement significative d'un dysfonctionnement du système, que l'on peut alors interpréter en fonction de son mode d'occurrence (hauts débits ou bas débits affectés,...), ainsi qu'en s'appuyant sur les caractéristiques de la courbe de récession.

4.3.3.2 Résultats

(Annexe 2a, b, c dans partie hydrodynamique)

Bien que les séries soient très courtes en général (l'exception étant Lestang) l'adaptation du modèle utilisé (loi de Laplace) est très satisfaisante pour 14 des sources sur les 18. Ce résultat montre que les aquifères karstiques drainés par ces sources possèdent un fonctionnement homogène, sans fuite et sans apport.

Sur les quatre exceptions, notons la source de Beldoire dont l'anomalie mise en évidence correspond à la géométrie complexe de l'exutoire.

Pour le Mas de Lafon, l'anomalie peut également s'expliquer du fait que l'on a un tarissement très long, avec un débit pratiquement constant et ensuite une seule crue.

Pour les deux autres : Rouveyrol et surtout Tantayrou les résultats peuvent s'expliquer par la forme du seuil, avec la présence d'une forte échancrure qui peut créer une anomalie surtout avec des chroniques aussi courtes. Ainsi, les données sont insuffisantes pour que l'on puisse proposer une interprétation sur le fonctionnement général de ces deux aquifères.

En revanche, on constate que pour certaines de ces sources l'ajustement des débits classés par rapport à la loi de probabilité, s'effectue suivant une loi arithmétique et d'autres suivant une loi logarithmique. Cela permet de distinguer deux types de comportement. Avec la loi logarithmique cela correspondrait à une dispersion beaucoup plus forte entre faibles et forts débits, que pour la loi arithmétique, c'est-à-dire à des aquifères plus karstifiés. Nous prendrons comme exemple : Bastide (cf. figure 43) avec une loi logarithmique et Buzareingues avec une loi arithmétique (cf. figure 43).

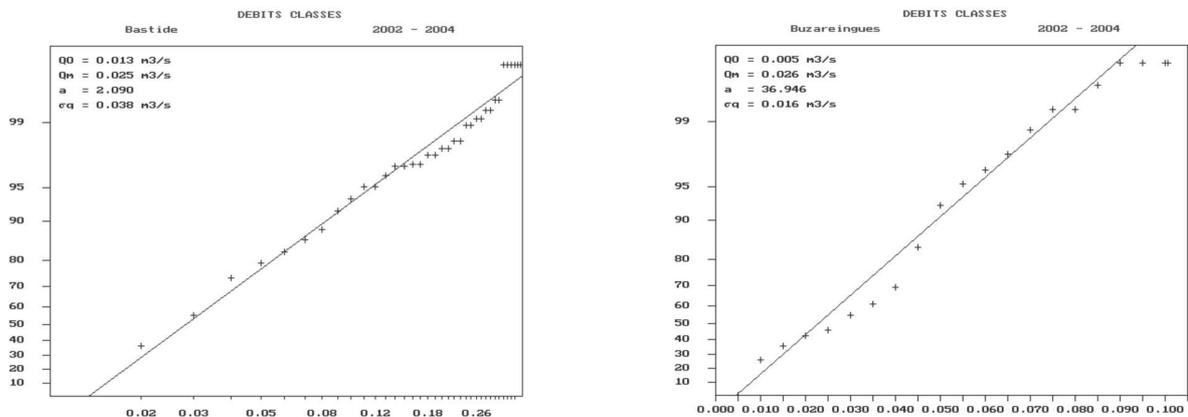


Figure 43 : Courbes des débits classés à Bastide et à Buzareingues

Dans les aquifères qui seraient très karstifiés on classerait suivant ce critère : Bastide, Courlinaux, Fontmaure, Lestang, Mas de Lafon, Mayrinhac, Roquaizou, Rouveyrol, Ségala, Serre, Tantayrou, Verlenque.

Pour les aquifères moins karstifiés on aurait : Beldoire, Buzareingues, Cayrac, Duc, Esparses, Glassac.

4.3.4 Méthodes de traitement du signal

4.3.4.1 Analyse corrélatrice et spectrale simple

* Ces outils mathématiques d'analyse s'appliquent aux chroniques dont on dispose, représentées par les fluctuations de hauteur d'eau, mesurables au cours du temps à l'exutoire des sources. Ces chroniques constituent un signal de sortie des systèmes situés en amont des résurgences (aquifères karstiques) et peuvent donc permettre, via traitements mathématiques adéquats, d'en préciser le fonctionnement.

* Une première étape consiste, dans chaque cas, à remplacer la fonction de sortie (hauteur d'eau = $f(t)$) par son corrélogramme, qui n'est autre qu'une fonction d'autocorrélation traduisant le lien entre les événements pour des intervalles de temps de plus en plus grands.

En travaillant ainsi sur l'évolution de l'accroissement d'une fonction plutôt que sur la fonction elle-même, il devient alors possible de séparer les différentes composantes rencontrées généralement dans toute chronique et d'en réaliser une première évaluation :

- tendance ou composante structurée à long terme,
- composantes structurées à moyen terme, résultant de rythmes saisonniers ou autres et que l'on peut analyser par des fonctions périodiques,
- composantes aléatoires à court terme, ou "bruit", porteuses d'autres types d'information.

* Déplaçant l'analyse du domaine temporel au domaine fréquentiel, une deuxième étape va consister ensuite à appliquer la transformation de Fourier à la fonction d'autocorrélation. Cette opération, réalisée sur des fenêtres temporelles soigneusement choisies, fournit un "spectre de puissance" (ou de densité de variance) où les différentes composantes du signal apparaissent sous forme de pics caractéristiques de certaines fréquences. L'opération peut se comparer à l'effet d'un prisme qui séparerait les composantes du signal dans le domaine fréquentiel en attribuant à chacune d'entre-elles une intensité propre correspondant à une certaine quantité de variance.

4.3.4.2 Analyse corrélatoire et spectrale croisée

* La fonctionnalité de l'aquifère est analysée ici à travers les relations pouvant être mises en évidence entre une certaine fonction d'entrée (chronique des précipitations) et une fonction de sortie (chronique des hauteurs d'eau ou débits). Le système est alors considéré comme un opérateur transformant une fonction "hyétogramme" en une fonction "hydrogramme", et imprimant (via une certaine "fonction de transfert") certains de ses caractères à celle-ci.

* Pratiquement, la recherche des caractéristiques de ce transfert passe par le calcul d'une fonction d'intercorrélation entre les deux fonctions mises en jeu et par le tracé du graphe de celle-ci : le corrélogramme croisé. Dans le cas où la fonction d'entrée peut être considérée comme aléatoire (cas de la pluviométrie), ce corrélogramme croisé représente alors la réponse impulsionnelle du système (ou hydrogramme unitaire).

* D'autres fonctions : fonctions d'amplitude, de phase, de cohérence ou de gain, peuvent être aussi calculées à partir de telles données ; elles permettent d'apprécier certaines modalités de transformation de l'information au sein du système et peuvent donc également servir à en éclairer le fonctionnement.

4.3.4.3 Analyse en ondelettes : étude des non-stationnarités

* La vision globale et moyenne des périodicités d'une chronique fournie par la transformée de Fourier de son corrélogramme (spectre de puissance) ne permet pas d'atteindre les éventuelles "non-stationnarités" susceptibles d'affecter cette chronique : variation du signal liée au renforcement ou atténuation de telle ou telle fréquence, à certaine époques, au cours du temps. L'analyse en ondelettes, où les fonctions sinusoïdales de "calage" de l'analyse de Fourier se trouvent remplacées par des morceaux de courbes oscillantes de différentes fréquences, permet de combler cette lacune (voir rapports de B. GARRY et C. PITTET pour plus de détails...). Lors de cette analyse, des coefficients d'ondelettes, rendant compte de la correspondance plus ou moins étroite entre ondelettes et portions de signal successivement analysés, sont calculés. Ils sont d'autant plus élevés que l'ondelette est semblable au signal.

* Finalement, une représentation graphique ("scalogramme") de l'intensité (matérialisée par une échelle de couleur) des coefficients d'ondelettes attachés aux différentes portions de signal se succédant dans le temps, peut être obtenue. Un tel diagramme "temps (en

abscisse) - fréquences (en ordonnée en échelle dyadique)", en visualisant la modulation plus ou moins forte du signal par telle ou telle fréquence au cours du déroulement de la chronique, constitue un outil de premier ordre pour la détection des non-stationnarités de ce signal ainsi que pour la recherche de leurs causes.

4.3.5 Résultats

4.3.5.1 Analyses des chroniques au pas de temps journalier

Nous commencerons par l'analyse au pas de temps journalier, car c'est à cette échelle que sont habituellement traitées les chroniques de débits. Nous utiliserons seulement trois types d'analyses. La première correspond à une corrélation croisée pluie – débit qui fournit une représentation de la réponse impulsionnelle donc de l'hydrogramme unitaire. La deuxième a trait à une analyse spectrale qui rend compte des structures observées sur la chronique. La troisième se rapporte à l'analyse en ondelettes continues qui donne une image synthétique de l'évolution des débits au cours du temps.

D'autres analyses ont été effectuées mais non reportées ici, car n'apportant pas de résultats significatifs ou étant redondants avec les précédentes.

4.3.5.1.1 Analyse croisée pluies-débits (Annexe 3a, b, c dans partie hydrodynamique)

Comme pour toutes les analyses, les chroniques se révèlent un peu courtes, pour que l'on ait une représentation précise de l'hydrogramme unitaire. C'est le cas par exemple pour les sources de Beldoire et de Roquaizou où l'interprétation est difficile. Par exemple pour Beldoire si l'on se rapporte à la chronique (Annexe a) on constate que sur l'ensemble de la chronique, on a une seule crue, ce qui est insuffisant.

Quoi qu'il en soit on peut malgré tout distinguer deux types de réponses : la première très aiguë et peu étalée correspondant à des écoulements rapides, donc à des aquifères bien karstifiés. La seconde plus étalée, avec une pointe moins haute, où les aquifères seraient moins bien karstifiés.

Nous prendrons à titre d'exemple Bastide (cf. figure 44) représentant le premier cas et Buzareingues (cf. figure 44) caractéristique du second.

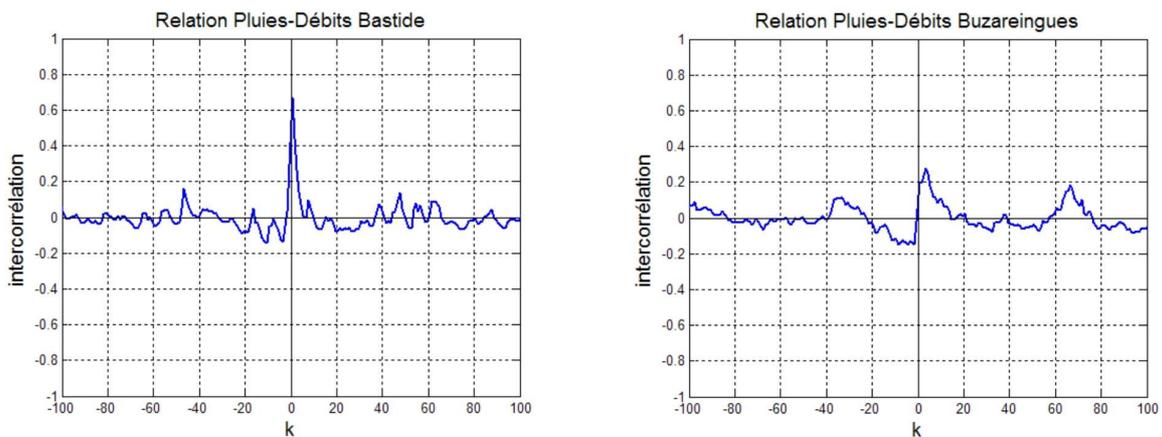


Figure 44 : Corrélogrammes croisés pour Bastide et Buzareingues

Là encore, il est possible d'établir une certaine classification où l'on trouverait :

- pour les aquifères bien karstifiés : Bastide, Courtinaux, Glassac, Lestang, Roquaizou, Rouveyrol, Ségala, Serre, Tantayrou, Verlenque ;
- pour les aquifères moins karstifiés : Beldoire, Buzareingues, Cayrac, Duc, Eparses, Fontmaure, Mas de Lafon, Mayrinhac.

4.3.5.1.2 Analyse spectrale de la pluie et des débits (Annexe 4a, b, c dans partie hydrodynamique)

Le spectre de la pluie (cf. figure 45) montre :

- une très légère tendance correspondant à un effet saisonnier assez peu marqué de la pluie ;
- des structures avec deux pics à 8j et 9j qui traduisent une certaine répartition des pluies sur la période étudiée, mais que l'on ne saurait interpréter au-delà, en raison d'une période trop courte ;
- un fort bruit aléatoire.

Pour les débits nous obtenons des spectres plus contrastés mais avec les mêmes indications que ceux de la pluie et nous prendrons comme exemple Bastide (cf. figure 45). On constate qu'en règle générale la tendance est plus forte, sauf pour : Serre, Tantayrou et Verlenque assez proches de la pluie. Ce résultat indique qu'à l'exception de ces trois cas qui doivent correspondre à des aquifères très karstifiés, il existe malgré tout des réserves régulatrices.

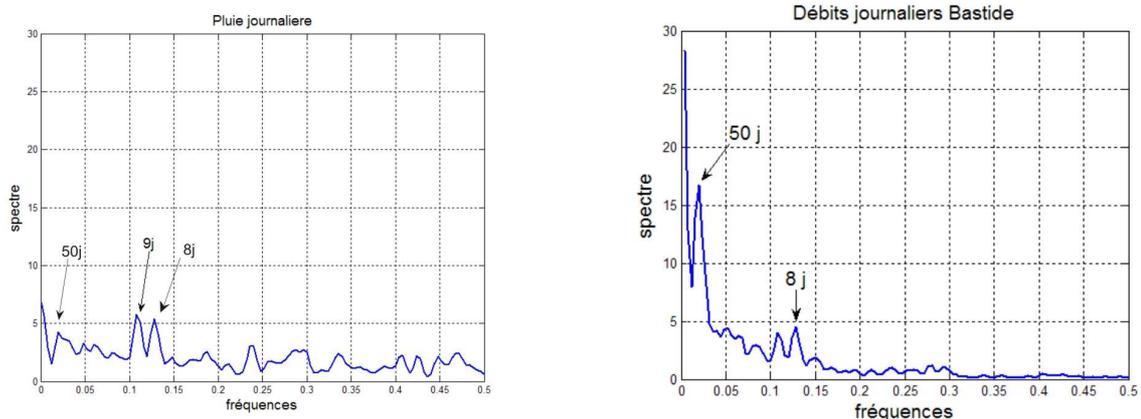


Figure 45 : Spectre simple de la pluie (graphique de gauche) et exemple d'un spectre simple sur les débits (graphique de droite)

Ce caractère est corroboré par le fait que quelque soit le système considéré, les composantes aléatoires sont fortement filtrées.

Sur Beldoire le spectre est peu marqué, mais cela est dû à la chronique où on ne constate que l'existence d'une seule crue.

On a un phénomène comparable avec Mas de Lafon, mais comme précédemment, c'est le fait que la chronique est trop courte avec peu de crues.

4.3.5.1.3 Analyses en ondelettes continues (Annexe 5a, b, c)

Les analyses en ondelettes continues pour la pluie mettent en évidence l'existence de deux épisodes pluvieux importants, en novembre-décembre 2002 et en octobre-novembre 2003, séparés par une période aux précipitations beaucoup moins abondantes (cf. figure 46). Sur cette période elles mettent également en évidence l'existence de structures marquées sur le scalogramme par des variations pseudopériodiques à 4 j, 8-9 j, 1 mois, structures que l'on voyait mal sur les spectres. Il est important de voir comment ces structures seront filtrées au niveau des différents aquifères étudiés. D'une façon générale, sur les scalogrammes des débits aux sources on retrouve les mêmes structures, voir comme exemple les analyses faites sur Bastide (cf. figure 46).

Mais on constate surtout au niveau de la période peu pluvieuse l'absence presque totale d'information (sauf pour Lestang et Glassac). Cela ne saurait être imputable à un simple filtrage déterminé par les aquifères. En fait, il faut l'attribuer à une mauvaise résolution des données pour ces faibles débits. On retrouve à ce niveau des remarques faites précédemment sur la précision des données.

Pour Lestang les périodicités mises en évidence à court terme sont imputables à des actions anthropiques.

En basses eaux, il semble que Glassac soit très sensible à la moindre pluie. Pour toutes les autres sources, il n'apparaît pas de différences marquées.

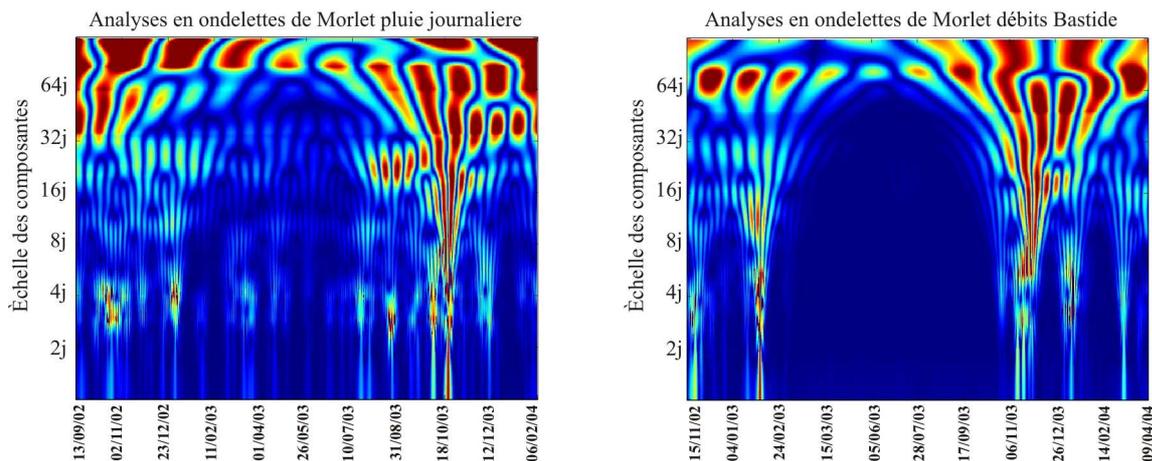


Figure 46 : Scalogramme de la pluie (à gauche) et exemple d'un scalogramme de débit (à droite)

4.3.5.2 Analyse des chroniques au pas de temps semi-horaire ou horaire

Le fait de passer d'un pas journalier à un pas semi-horaire ou horaire va permettre d'explorer dans le détail le comportement des systèmes étudiés.

4.3.5.2.1 Analyse de la répartition des composantes par rapport à l'échelle (Annexe 6a, b, c)

Cette analyse est particulièrement intéressante car elle permet de distinguer les systèmes qui, par leur inertie, filtrent les composantes à court terme. Dans ce cas on obtient des courbes concaves. Dans le cas contraire, les courbes se rapprochent de la diagonale ou bien sont convexes, car les variations à court terme sont toujours plus importantes que les variations à

moyen ou long terme. On peut ainsi voir comment le système filtre les informations fournies par la pluie.

Cette analyse se fonde sur la décomposition du signal à partir de la multirésolution et compare la variance de chaque composante par rapport à la variance totale.

Sur chacune des courbes obtenues sur les sources étudiées, a été reportée celle de la pluie qui sert ainsi de référence. A titre d'exemple sont fournies les courbes de Bastide (cf. figure 47) et celle de Buzareingues (cf. figure 47).

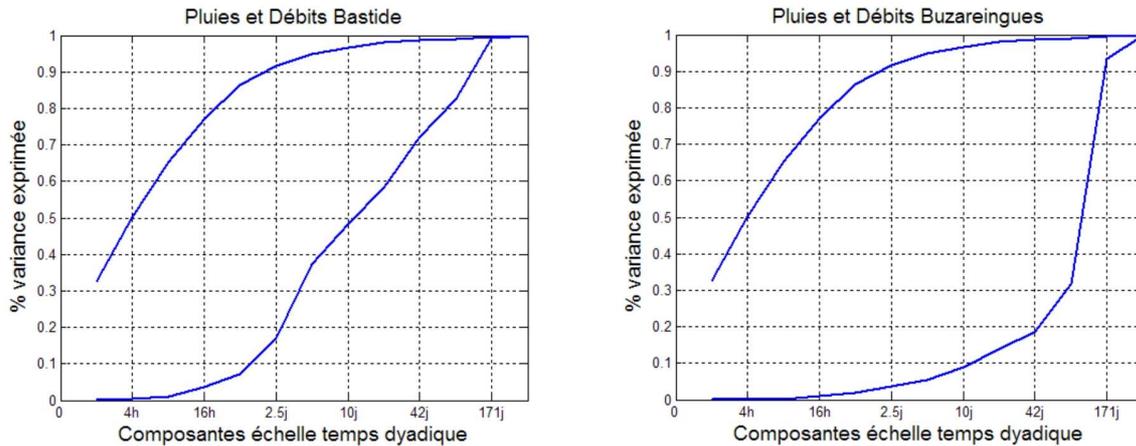


Figure 47 : Répartition des composantes suivant l'échelle de temps (exemples de Bastide et de Buzareingues)

Comme pour les analyses précédentes, on peut à partir de cette représentation distinguer deux groupes. Le premier montre des courbes proches de la diagonale ou convexes, qui se rapprochent donc de la pluie et qui correspondraient à des systèmes très karstifiés. Ce sont : Bastide, Courtinaux, Lestang, Roquaizou, Rouveyrol, Ségala, Serre, Tantayrou, Verlenque (cette dernière présente une courbe qui se rapproche beaucoup de celle de la pluie).

Le second groupe correspond à des courbes nettement plus concaves et identifierait des systèmes moins karstifiés. Ce sont : Beldoire, Buzareingues, Cayrac, Duc, Esparses, Fontmaure, Glassac, Mas de Lafon, Mayrinhac.

4.3.5.2.2 Analyse croisée pluies-débits (Annexe 7a, b, c)

Le fait de passer d'un pas journalier à un pas semi-horaire va permettre de mieux préciser la forme de la réponse impulsionnelle (l'hydrogramme unitaire) et de mieux distinguer les systèmes les uns par rapport aux autres.

La méthode utilisée dans ce cas passe, pour réaliser le corrélogramme croisé pluies-débits, par la multirésolution en prenant toutes les composantes inférieures à 42 jours. Cela évite de prendre en compte les effets à long terme et de ne considérer que les composantes intervenant à coup sûr sur la réponse impulsionnelle.

Avec cette analyse il est possible de distinguer comme avec les méthodes précédentes deux comportements différents.

Le premier groupe (cf. figure 48) correspond à des réponses avec des pointes relativement marquées et avec ensuite une décroissance nette. Il s'agit de : Bastide, Courtinaux, Glassac, Lestang, Roquaizou, Rouveyrol, Ségala, Serre, Tantayrou et Verlenque. Ce groupe correspondrait à des systèmes bien karstifiés. Les corrélogrammes croisés pour ce groupe montrent également mais de façon systématique une forme composite avec une double

réponse, très visible sur l'exemple de Verlenque. Cette présence systématique indique qu'il ne s'agit pas d'une simple anomalie, mais d'un comportement caractéristique d'une certaine évolution de ces systèmes.

Le deuxième groupe présente une réponse nettement plus étalée, comme le montre l'exemple de Buzareingues (cf. figure 48). Dans ce groupe on trouve : Beldoire, Buzareingues, Cayrac, Duc, Esparses, Fontmaure, Mas de Lafon et Mayrinhac. Les systèmes correspondant seraient moins bien karstifiés.

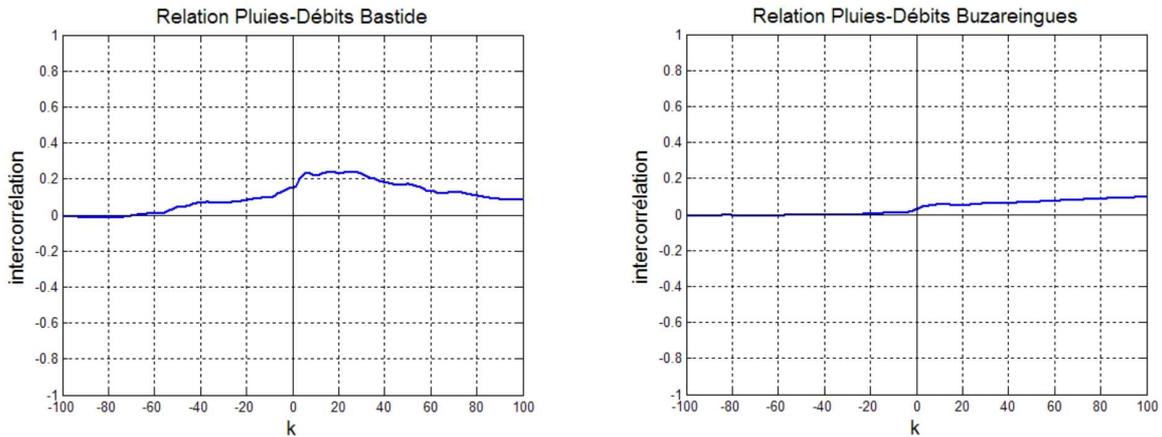


Figure 48 : Corrélogrammes croisés (exemples de Bastide et de Buzareingues)

4.3.5.2.3 Analyse spectrale des données au pas horaire (Annexe 8a, b, c)

Cette analyse va compléter celle qui avait été faite au pas journalier. Il a été pris un pas horaire pour avoir une étude sur un intervalle plus étendu qu'avec le pas semi-horaire, l'analyse étant limitée à 8050 données.

Le spectre de la pluie à ce pas (cf. figure 49) montre seulement l'existence d'un bruit qui indique la nature quasi aléatoire de la pluie à cette échelle. Avec les débits apparaissent des pics correspondant en fait à des structures présentes dans la pluie mais peu marquées et qui sont amplifiées avec les débits.

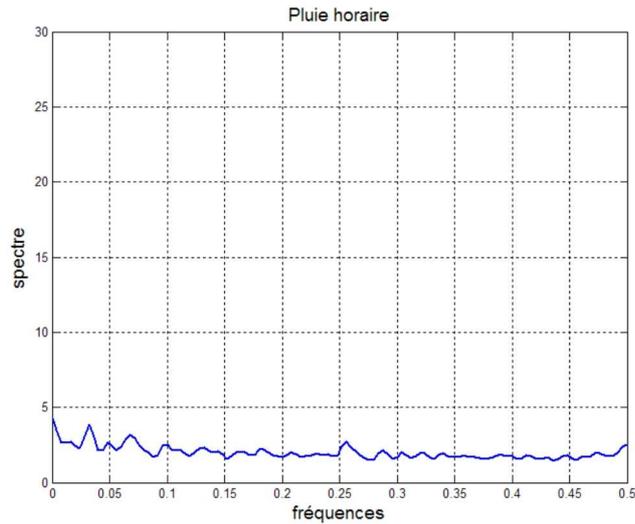


Figure 49 : Spectre de la pluie

De la même façon qu’avec les analyses précédentes, deux groupes peuvent être distingués.

Le premier amplifie fortement les structures liées à la pluie. Ce sont : Bastide, Beldoire, Courتناux, Duc, Fontmaure, Roquaizou, Rouveyrol, Ségala, Serre, Tantayrou, Verlenque (voir l’exemple de Bastide sur la figure ci-jointe).

Le second au contraire ne montre qu’une tendance et amortit le bruit présent dans la pluie (voir l’exemple de Buzareingues sur la figure ci-jointe). Il s’agit de : Buzareingues, Cayrac, Esparses, Glassac, Mas de Lafon et Mayrinhac.

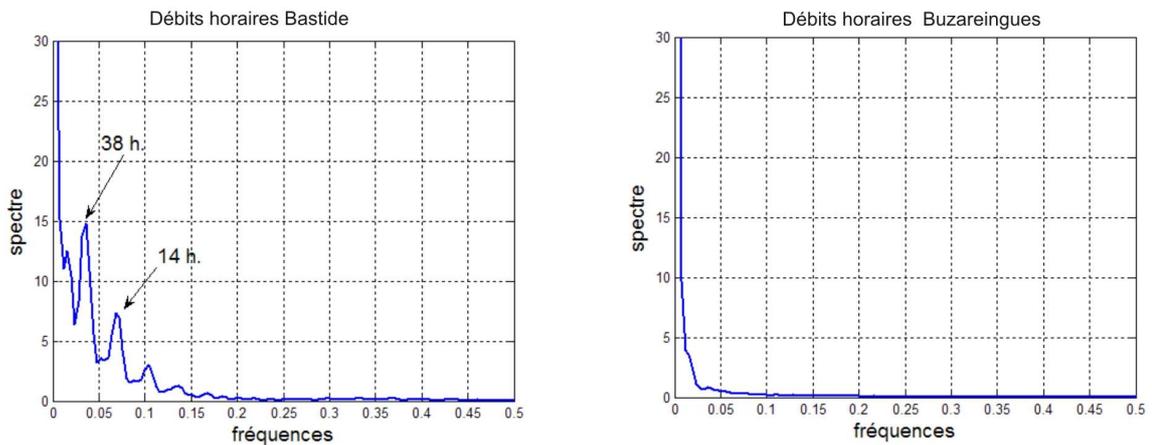


Figure 50 : Spectre simple de débit (exemples de Bastide et de Buzareingues)

4.3.5.2.4 Analyse en ondelettes continues (Annexe 9a, b, c)

Pour travailler au pas semi-horaire, la période choisie est celle qui correspond aux basses eaux. En effet, la présence de crues va masquer tous les phénomènes à court terme. Par ailleurs, l'effet des crues a pu être analysé en ondelettes continues au pas journalier. Il était donc intéressant de voir, notamment en étiage, comment se comportait les différents systèmes étudiés.

A titre de référence l'analyse en ondelettes de Morlet a été réalisée sur la pluie (cf. figure 51). Ce scalogramme montre qu'au cours de l'étiage sont intervenus quelques épisodes pluvieux. Pour les débits, on constate en premier lieu l'effet indubitable du manque de précision des courbes de tarage sur la détermination des débits en étiage. Cela se traduit pour ces périodes, sur le scalogramme, par une absence totale d'information. C'est le cas pour Buzareingues, Beldoire, Courlinaux, Duc, Fontmaure, Lestang, Verlenque. Cela est à mettre en relation avec des coefficients élevés obtenus au niveau de leur courbe de tarage.

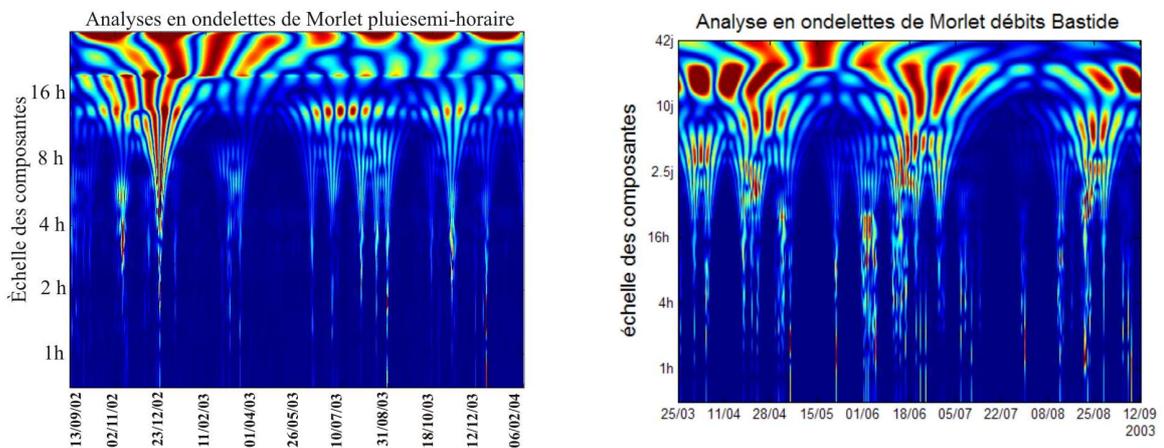


Figure 51 : Scalogramme de la pluie (à gauche) et exemple d'un scalogramme de débit)

Cette analyse (voir l'exemple de Bastide, figure ci-jointe) montre l'effet de la pluie bien marquée sur le scalogramme. Mais surtout il met en évidence, pour certaines de ces sources, l'existence d'une action anthropique. Cela se traduit par des composantes à 24 h bien marquées, voir des composantes de plusieurs jours.

Pour les composantes à 24 h, notons : Mayrinhac et Roquaizou. Pour une influence sur plusieurs jours ajoutons : Buzareingues, Cayrac (forte implication), Esparses, Lestang, Mas de Lafon, Ségala et Serre.

Toutes ces sources sont marquées par l'influence des hommes, soit en raison de captage (exemple de Cayrac), d'éclusées en amont (exemple de Lestang), ou de toute autre influence qu'il serait intéressant d'analyser.

Dans le travail de B. GARRY, compte tenu de l'inclinaison faible de certains plans de drainage, la possibilité d'avoir des aquifères multicouches, dont certains pourraient être captifs a été envisagé. Si tel était le cas, on devrait avoir l'influence de la marée terrestre qui se traduirait par des composantes semi-diurnes fortes. Ce phénomène n'apparaîtrait que pour Fontmaure.

4.3.5.3 Synthèse finale

Les différentes analyses effectuées sur les séries chronologiques de débits obtenues sur les 18 sources permettent d'acquérir des informations précises sur le fonctionnement des aquifères qu'elles drainent. Une première remarque s'impose : globalement toutes les sources présentent dans leur comportement une forte parenté ; il existe donc une certaine homogénéité. Malgré tout, nous verrons que dans le détail, il existe des différences. Les réponses en général indiquent une assez bonne réponse à la pluie, indice d'une karstification développée, mais avec une traîne qui indiquerait la présence de réserves non négligeables. On retrouve dans ce caractère ce qui avait été noté pour le Larzac septentrional et qui avait été interprété comme étant dû à l'héritage d'un karst développé, devenu par la suite moins fonctionnel, en raison d'un colmatage des vallées drainantes.

Un deuxième point important réside dans la possibilité de distinguer de façon nette deux types de comportement, ce qui n'avait pas été le cas pour le Larzac septentrional où ce phénomène existait mais pas de façon claire.

Il est possible en effet, en partant des différents critères examinés de distinguer deux groupes (voir Figure 52). Ces critères sont la forme des réponses impulsionnelles (corrélogrammes croisés) que ce soit à l'échelle journalière, mais de façon encore plus marquée à l'échelle semi-horaire, la répartition des composantes suivant le court et le long terme, la loi utilisée pour les débits classés et la comparaison des spectres.

	corr. croisé ½ h		corr. croisé journal.		répartition des comp.		débits classés		spectres horaires	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Bastide	o		o		o				o	
Beldoire		x		x		x		x	o	
Buzareingues		x		x		x		x		x
Cayrac		x		x		x		x		x
Courtinaux	o		o		o		o		o	
Duc		x		x		x		x	o	
Esparses		x		x		x		x		x
Fontmaure		x		x		x	o		o	
Glassac	o		o			x		x		x
Lestang	o		o		o		o		o	
Mas de Lafon		x		x		x	o			x
Mayrinhac		x		x		x	o			x
Roquaizou	o			x	o		o		o	
Rouveyrol	o		o		o		o		o	
Ségala	o		o		o		o		o	
Serre	o		o		o		o		o	
Tantayrou	o		o		o		o		o	
Verlenque	o		o		o		o		o	

Figure 52 : Classification des différentes sources obtenue à partir des analyses.

Corrélogramme croisé ½ h : A pointu, B étalé ;
 Corrélogramme croisé journalier : A pointu, B étalé ;
 Répartition des composantes : A convexe, B concave ;
 Débits classés : A loi logarithmique, B loi arithmétique ;
 Spectre horaire : A nombreux pics, B tendance seule.

Le premier groupe est composé de :

Bastide, Courtinaux, Lestang, Rouveyrol, Ségala, Serre, Tantayrou et Verlenque qui est certainement la plus typique ;

Le second groupe comprendrait :

Buzareingues, Cayrac, Esparses,

Compris entre les deux nous aurions :

* proche du 1^{er} groupe : Roquaizou,

* proche du 2^{ème} groupe : Duc, Fontmaure, Glassac, Mas de Lafon, Mayrinhac.

Le premier groupe serait relativement bien karstifié, alors que le second le serait moins. La distinction entre ces groupes ne paraît relever ni d'un critère géologique, ni d'un critère pétrologique ni même d'une situation géographique particulière. Le critère de discrimination se rapporte à autre chose et c'est probablement l'histoire géomorphologique de ce secteur qui peut nous apporter une réponse. On constate que pour le groupe apparaissant comme le plus évolué avec les écoulements les mieux organisés, la réponse semble composite (double

réponse). Cette particularité était observée sur le Larzac septentrional. La source de Verlenque est très caractéristique à cet égard.

Il est possible que le 2^e groupe possède un degré de karstification aussi développé que le premier groupe, mais il serait alors moins fonctionnel à cause du colmatage de la zone d'émergence (évolution géomorphologique récente). Cet aspect pourrait faire l'objet de recherches plus détaillées.

Dans le comportement global de l'ensemble aquifère apparaît un autre point important, c'est la présence d'un niveau de base très bas constitué par la vallée du Tarn. Les sources sont réparties au nord et au sud du massif carbonaté et à l'est au niveau du Tarn.

Pour les organisations au nord et au sud du massif de Sauveterre l'existence de plans de drainage orientés N-S justifie cette disposition. Comme ces plans sont verticaux on comprend que l'hétérogénéité lithologique ne joue aucun rôle. L'existence de plans de drainage avec une dispersion de plus de 36° suivant cette orientation, autorise l'existence de réseaux anastomosés et bien développés.

Pour les sources situées en bordure du Tarn là aussi existent de nombreux plans de drainage orientés suivant la direction de l'écoulement, donc le drainage des eaux dans cette direction est tout à fait possible. En revanche, ces plans sont pour la plupart faiblement inclinés. De ce fait l'écoulement se fera préférentiellement suivant certaines couches. L'aquifère à ce niveau risque d'être multicouches. Pour Fontmaure apparaît une composante semi-diurne due sans doute à la marée terrestre, indiquant qu'il existerait des conditions de captivité de l'aquifère. Par ailleurs, la dispersion des plans de drainage suivant cette direction, s'effectue sur un éventail d'angles supérieurs à 36° (de 45 à 120°) ; les réseaux peuvent donc être anastomosés. Au niveau du Tarn, les altitudes sont basses (395 m au Rozier), c'est à dire que le gradient hydraulique est maximal suivant cette direction. Dans ces conditions, à plus ou moins long terme, tous les écoulements du massif de Sauveterre prendront cette direction avec capture progressive des systèmes karstiques situés plus à l'Ouest. Ce mécanisme a commencé comme le montrent les traçages, mais surtout les valeurs des débits, puisque les sources les plus importantes sont Beldoire, Rouveyrol et Fontmaure.

Les réserves des différents systèmes sont certainement non négligeables. Les quelques estimations qui ont pu être faites indiqueraient des valeurs de l'ordre du million de m³. Ces données demanderaient à être vérifiées et précisées. Il faudrait retravailler ce point après réalisation de jaugeages de contrôle en étiage.

Pour certaines sources l'influence anthropique est importante, c'est le cas de la source de Lestang avec les vannages, de Mayrinhac, de Cayrac, et d'Esparses, de celle de Roquaizou avec les captages, mais aussi de la source de Serre.

4.4 L'hydrochimie

(cf. planche 5)

4.4.1 Les campagnes générales, juin 2003 et mai 2004

4.4.1.1 Contexte hydrologique des deux campagnes

Deux campagnes de prélèvements de toutes les sources identifiées avaient été prévues, une en condition d'étiage et l'autre en hautes eaux et ce pendant le suivi mensuel des sources d'ordre I et II programmé de septembre 2002 à août 2003.

4.4.1.1.1 Campagne de Juin 2003

L'année hydrologique 2002-2003 ayant été sèche avec seulement 2 périodes de hautes eaux fin novembre et début février, sans les crues attendues habituellement en mars/avril, seule la campagne d'étiage a pu être réalisée en juin 2003 en coordination avec le suivi mensuel. Cet étiage s'est certes prolongé jusqu'à la fin octobre 2003 mais il avait commencé dès la fin de mars. La campagne de juin s'est bien effectuée pendant une vraie période d'étiage (tarissement de Fontmaure dès le 9 mai).

4.4.1.1.2 Campagne de mai 2004

La campagne de hautes eaux a été reportée au printemps 2004 entre le 5 et le 13 mai. Elle n'a pas pu être coordonnée avec un suivi mensuel.

L'année hydrologique 2003 – 2004 a connu trois périodes de crues importantes les 3-12-2003, le 18-01 et le 30-04-2004 (cf. fig.). La campagne de mai s'est effectuée en fin de décrue de ce dernier épisode. Elle connaît des eaux moyennes et la petite crue du 8 mai n'est pas suffisante pour changer les conditions de cette période. Il est d'ailleurs illusoire sur une telle surface et en contexte karstique de prélever toutes les sources au maximum des hautes eaux.

On peut vérifier sur les stations jaugées que les débits de mai sont du même ordre de grandeur que ceux du suivi mensuel des 25 et 26 novembre 2002. Cependant ce suivi se situe en début de cycle hydrologique à la reprise des écoulements alors que la campagne de mai est en fin de période de hautes eaux. Les états chimiques ne peuvent donc pas être comparés.

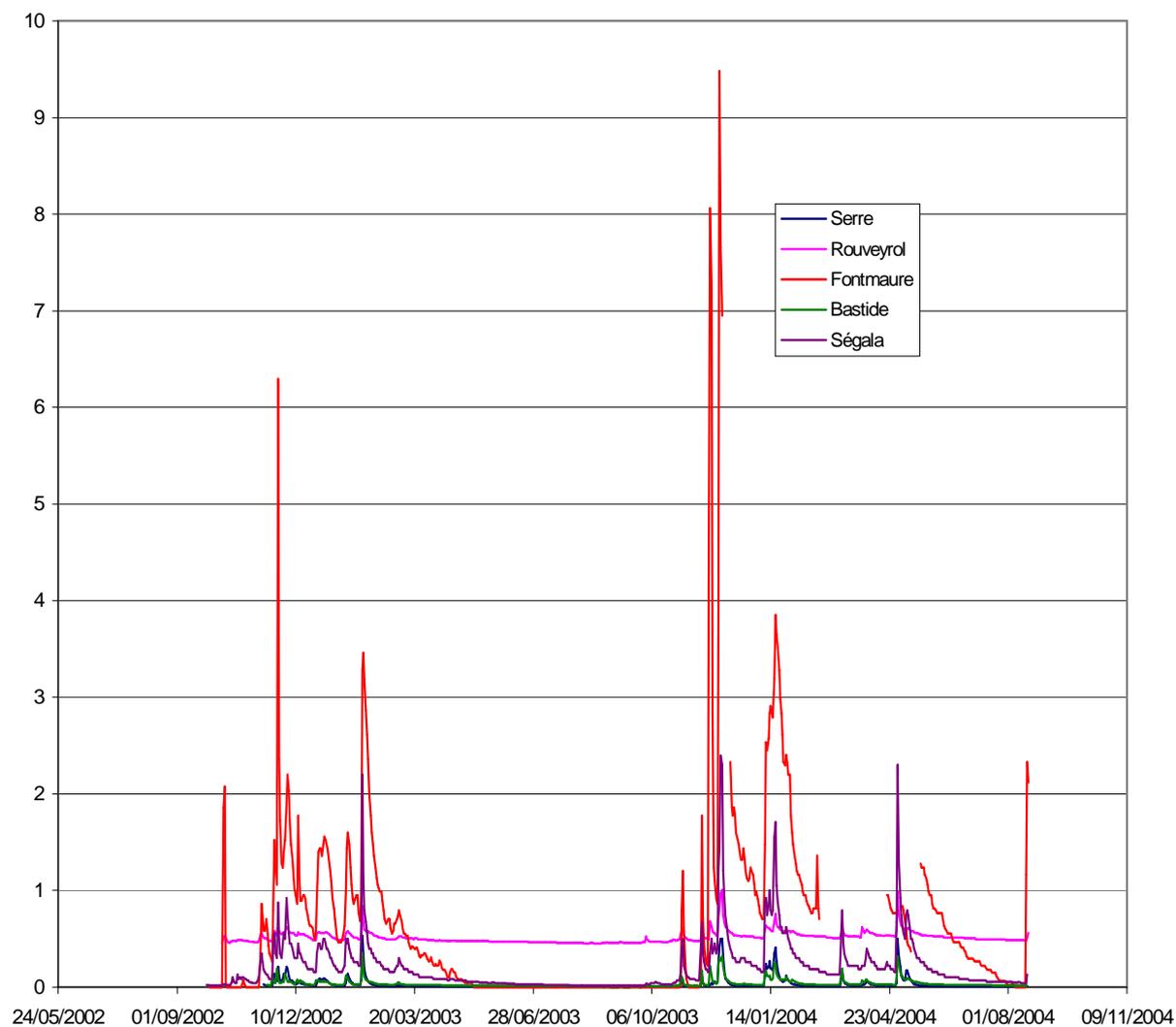


Figure 53 : Régime hydrologique de la période d'étude

4.4.1.2 Les résultats de la campagne d'été 2003

Les mesures de terrain et les résultats des analyses chimiques des 76 sources prélevées au cours de l'été sont rassemblés en annexe.

4.4.1.2.1 Le profil chimique des eaux

Sur un diagramme de Piper (cf. fig.) on voit que l'ensemble des sources présente, à la seule exception du forage profond de Trébans, un faciès bicarbonaté calcique avec une tendance marquée dans le triangle des cations vers un faciès mixte calcique et magnésien et une dispersion amorcée dans le triangle des anions depuis le faciès purement bicarbonaté vers un pôle anthropique chlorure + nitrate et plus rarement vers le pôle sulfaté.

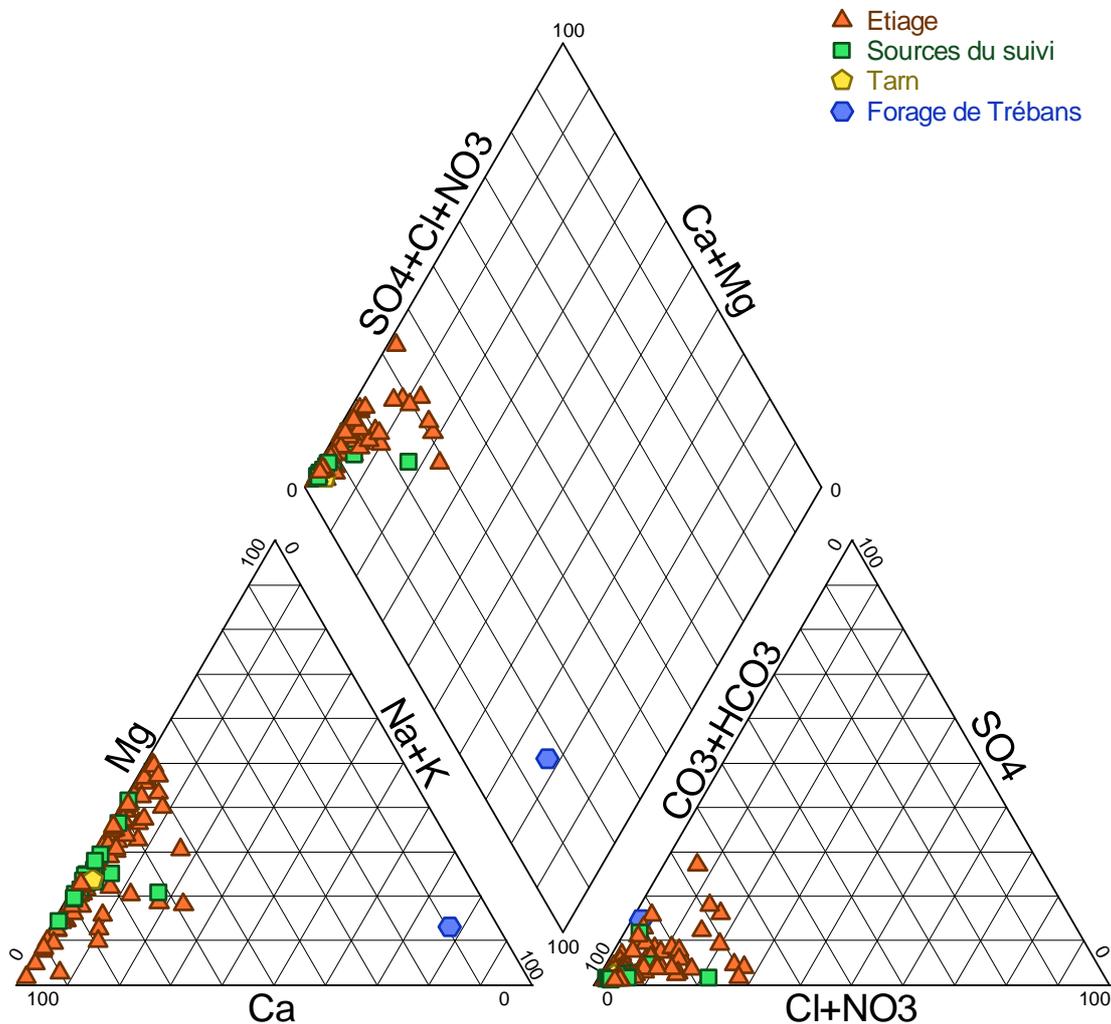


Figure 54 : Points de prélèvements de la campagne Juin 2003

Avec ce type de représentation graphique on ne considère que les proportions relatives des cations et des anions majeurs mais les conductivités électriques de ces sources, comprises pour leur grande majorité (65%) entre 400 et 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cf. histogramme joint), indiquent des minéralisations totales assez semblables. Seule la source de Montaliès pourtant à faciès bicarbonaté calcique, présente une minéralisation très faible, caractéristique de terrains cristallins ou cristallophylliens. Elle n'a pas été prise en compte dans les traitements statistiques.

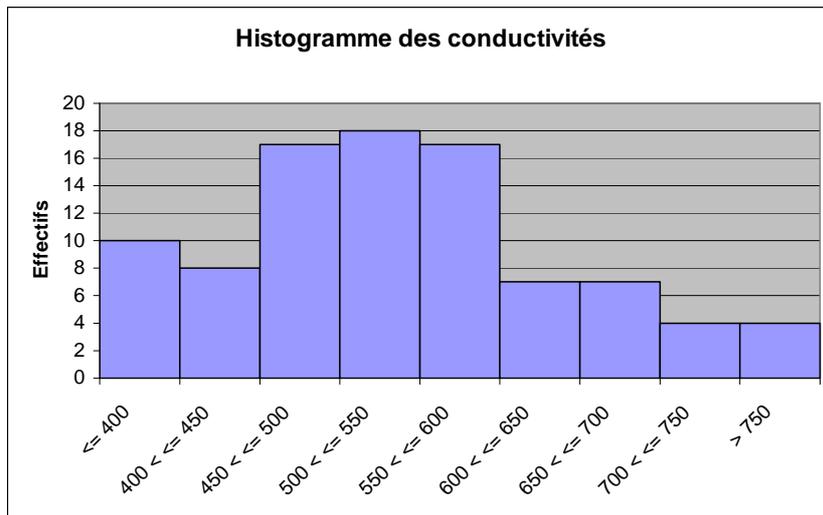


Figure 55 : Histogramme des conductivités

4.4.1.2.2 Traitement des données par l'analyse en composantes principales

Nous avons pris en compte dans cette analyse en composantes principales (A.C.P.) toutes les eaux prélevées en juin 2003 en cours d'été, celles de la campagne générale, sauf les eaux du forage de Trébans et de Montaliès, plus les sources du suivi mensuel. Les variables utilisées sont le pH, la conductivité électrique, les cations (4) et anions (4) majeurs, la silice dissoute, la pCO_2 et l'indice de saturation vis à vis de la calcite (IsCa).

La matrice de corrélation linéaire entre les différents descripteurs (cf. tableau) indique les relations suivantes :

	pH	cond	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₂	IsCa	pCO ₂
pH	1,00	-0,30	-0,30	0,08	0,03	-0,02	-0,30	-0,01	-0,03	0,00	0,13	0,88	-0,86
cond	-0,30	1,00	0,42	0,41	0,39	0,47	0,76	0,49	0,48	0,38	0,05	-0,02	0,51
Ca	-0,30	0,42	1,00	-0,28	0,09	0,34	0,51	0,14	0,16	0,17	0,05	0,12	0,46
Mg	0,08	0,41	-0,28	1,00	-0,03	0,05	0,57	-0,04	0,21	-0,04	0,03	0,11	0,07
Na	0,03	0,39	0,09	-0,03	1,00	0,22	0,01	0,92	0,14	0,26	0,29	0,05	0,00
K	-0,02	0,47	0,34	0,05	0,22	1,00	0,24	0,30	0,20	0,72	0,24	0,14	0,25
HCO ₃	-0,30	0,76	0,51	0,57	0,01	0,24	1,00	0,08	0,18	0,03	-0,07	0,07	0,56
Cl	-0,01	0,49	0,14	-0,04	0,92	0,30	0,08	1,00	0,21	0,35	0,25	0,04	0,08
SO ₄	-0,03	0,48	0,16	0,21	0,14	0,20	0,18	0,21	1,00	0,24	0,14	0,06	0,11
NO ₃	0,00	0,38	0,17	-0,04	0,26	0,72	0,03	0,35	0,24	1,00	0,30	0,07	0,08
SiO ₂	0,13	0,05	0,05	0,03	0,29	0,24	-0,07	0,25	0,14	0,30	1,00	0,16	-0,14
IsCa	0,88	-0,02	0,12	0,11	0,05	0,14	0,07	0,04	0,06	0,07	0,16	1,00	-0,63
pCO ₂	-0,86	0,51	0,46	0,07	0,00	0,25	0,56	0,08	0,11	0,08	-0,14	-0,63	1,00

Figure 56 : Tableau de corrélations de la campagne d'étiage

- Evidemment une bonne corrélation (0,76) entre conductivité et bicarbonates puisque le faciès des eaux est franchement bicarbonaté
- Une corrélation attendue entre bicarbonates et calcium (0,51) mais aussi entre bicarbonates et magnésium (0,56) puisqu'il s'agit de réservoirs calcaires et dolomitiques
- Une excellente corrélation entre chlorure et sodium (0,92) indiquant la mise en solution de chlorure de sodium et entre nitrate et potassium (0,72) liés aux activités agricoles
- Une très bonne corrélation inverse (-0,86) entre pCO₂ et pH et une corrélation directe significative entre pCO₂ et bicarbonates (0,56), deux paramètres qui interviennent dans le calcul de la pCO₂
- Une très bonne corrélation (0,88) entre IsCa et le pH qui intervient dans son calcul et une corrélation inverse significative (-0,63) entre pCO₂ et IsCa parce qu'ils sont fortement corrélés mais de façon opposée au pH.

Les figures suivantes présentent les cercles de corrélation pour les plans I - II et I - III ainsi que les diagrammes des échantillons d'eau dans les plans correspondants.

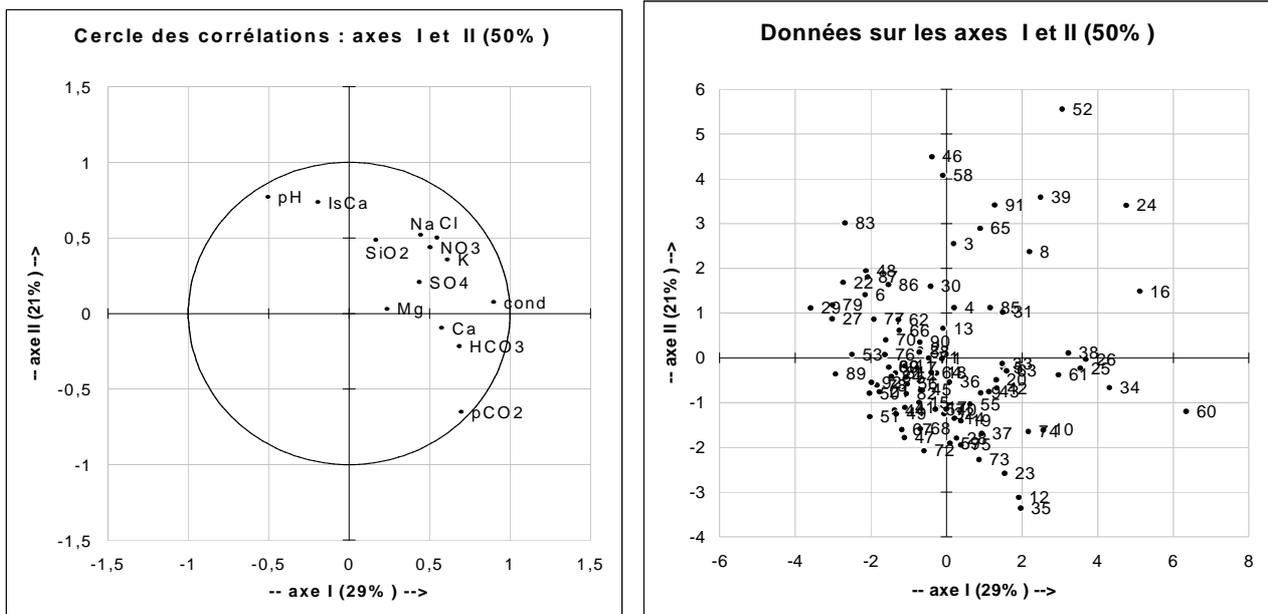


Figure 57 : Corrélations et données sur les axes I et II

Les axes I et II expriment respectivement 29 % et 21 % de la variance ce qui est relativement peu élevé :

- **l'axe I** est caractérisé par la minéralisation de l'eau, la conductivité et les ions HCO_3^- , Ca^{2+} et Mg^{2+} indicateurs du milieu carbonaté ainsi que les ions très regroupés sur le cercle K^+ , Na^+ , NO_3^- et Cl^- indicateurs d'impact anthropique et l'anion SO_4^{2-} , en position intermédiaire.

Dans le diagramme des échantillons d'eau, la minéralisation est croissante de la gauche vers la droite sur l'axe I qui oppose les sources très minéralisées, comme Mont Rouch 2 (n° 60) La Borie (n° 34) Roquaizou 2 (n° 16) Gaillac d'Aveyron (n° 26), atteintes par la pollution, aux sources peu minéralisées parce que pauvres en bicarbonates et exemptes d'éléments anthropiques comme, par exemple, les sources de Canilhac (n° 29), de Verteilhac (n° 27) ou de Fontmaure en tarissement (n° 89).

- **l'axe II** oppose le pH et l'IsCa à la pCO_2 et caractérise les équilibres carbonatés et plus particulièrement les conditions de circulation dans le système et le rôle de la zone d'infiltration. La position dans la partie supérieure de cet axe caractérise les sources à pH élevé, supérieur à 8 à la suite du départ de CO_2 par aération dans les conditions naturelles de sortie du système ou par suite d'un biais de prélèvement, pauvres en HCO_3^- (ayant précipité ?) et sursaturées vis à vis de la calcite. C'est le cas par exemple des sources de Glassac 2 (n° 58), près de la route (n° 46) et Fontfrège (n° 52). On remarquera la double influence minéralisation – pollution et dégazage par la position entre les axes I et II de cette dernière.

La position dans la partie inférieure de l'axe II caractérise les sources à pH très proche de 7, les plus riches en HCO_3^- , n'ayant pas dégazé et conservé des pCO_2 élevées d'origine entre 2 et 3 %. C'est le cas des sources du Téron du Bez (n°35), du Rouquet (n°12) et du Duc (n°23)

- l'axe III exprime seulement 14 % de la variance. Il marque une opposition entre Mg^{2+} surtout et aussi HCO_3^- et $IsCa$ d'une part et Cl^- et Na^+ d'autre part. Il indiquerait respectivement la marque d'un réservoir dolomitique avec dédolomitisation éventuelle opposé à une pollution par le chlorure de sodium. Dans le diagramme des échantillons d'eau on trouve en effet dans la partie supérieure de l'axe III, de fortes teneurs en magnésium, des teneurs élevées en HCO_3^- et des eaux sursaturées vis à vis de la calcite comme le puits Les Tessières (n°38), les sources Les Pouzets (n°31) et Aiguevives 2 (n°63).

Dans la partie inférieure de l'axe III on trouve les sources avec les concentrations en Cl^- et Na^+ les plus élevées comme par exemple les sources Le Parisien (n°39), Roquaizou 2 (n°16) et Rouveyrol (91).

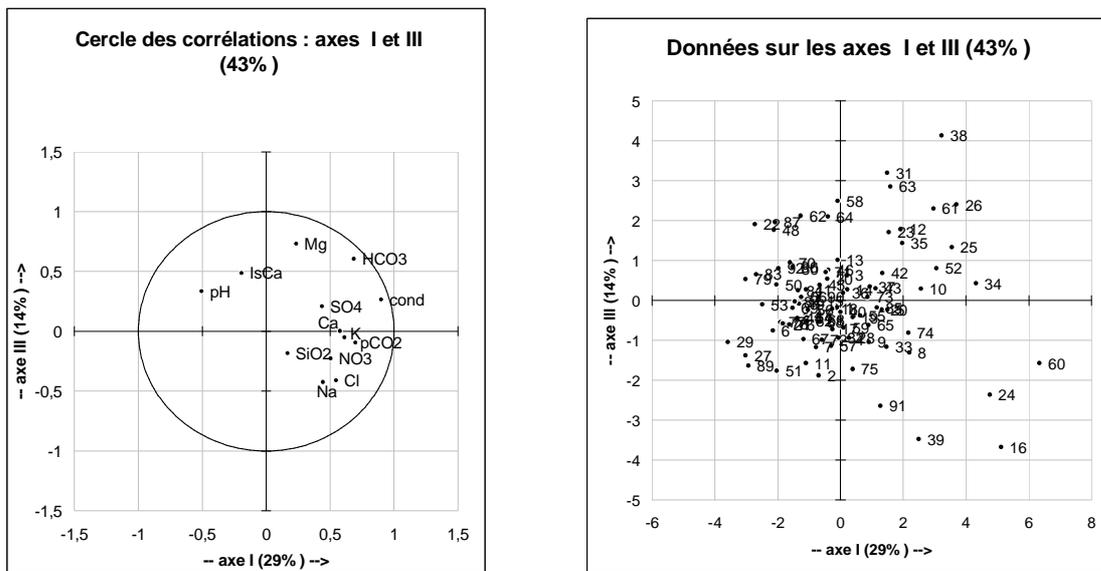


Figure 58 : Corrélations et données sur les axes I et III

4.4.1.2.3 Les classes de concentration par élément

On trouvera ci-après les fréquences de distribution des anions et cations majeurs et de la silice dissoute des eaux échantillonnées au mois de juin 2003 en période de plein étiage, celles de la campagne exhaustive plus les sources de catégorie I et II du suivi, soit 94 analyses. Les valeurs limites des distributions, la valeur moyenne et la valeur médiane sont rassemblées dans le tableau suivant.

	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂
minimum	56	2,8	2,0	0,1	11,3	1,1	1,1	0,1	2,9
< 5%	205	3,1	2,3	0,5	46,5	4,6	1,1	0,2	3,5
moyenne	317	13,3	8,6	10,1	76,8	17,8	4,7	1,7	7,7
médiane	314	8,0	5,0	5,2	77	16,2	1,8	0,6	7,4
95% <	432	36,5	33,2	28,1	108	37,7	16,1	8,1	13,1
maximum	505	118	73,6	81,2	143	45,2	120	16,0	15,7

Figure 59 : Tableau de valeurs caractéristiques des concentrations de la campagne d'étiage

On observe des distributions équilibrées de part et d'autre de la valeur médiane pour les éléments majeurs constituant l'essentiel de la minéralisation, les bicarbonates, le calcium et le magnésium et aussi la silice dissoute. Ce sont les éléments provenant des terrains traversés pour lesquels les valeurs moyennes et les valeurs médianes sont proches. Pour les éléments anthropiques, nitrates, chlorures, sodium, sulfates pour partie, les distributions sont « gonflées » en faveur des faibles valeurs, la médiane restant bien inférieure, en pourcentage, à la moyenne « tirée » par quelques très fortes concentrations.

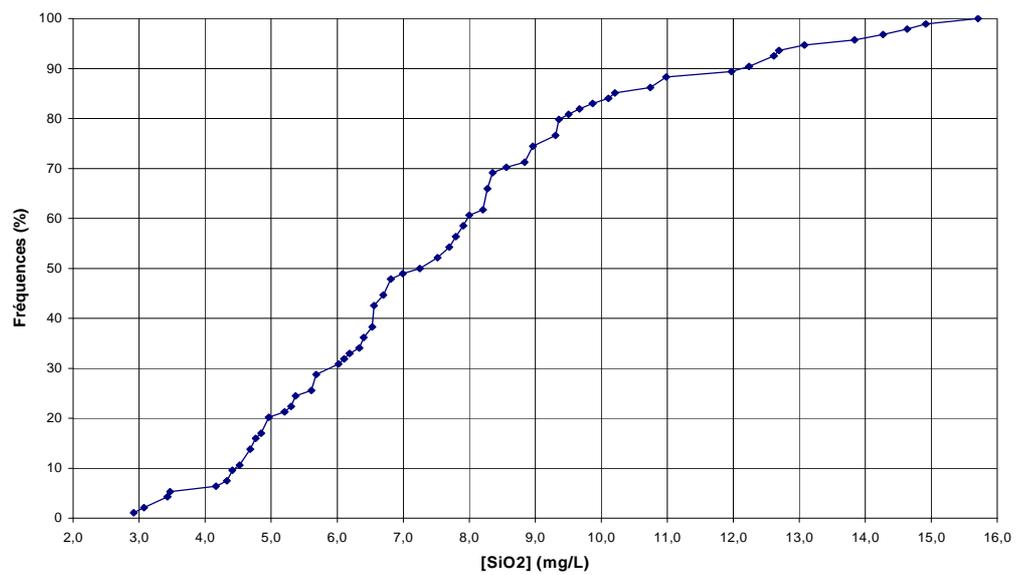
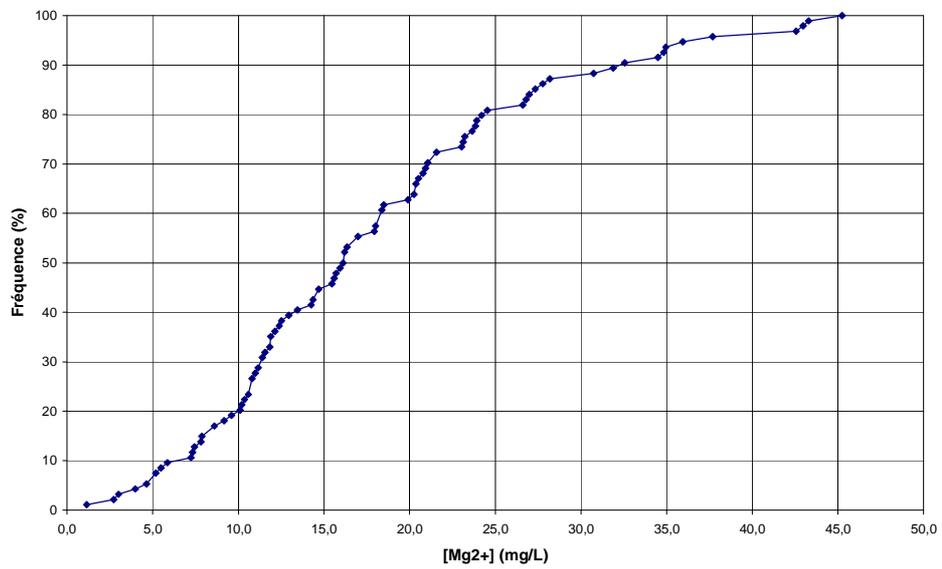
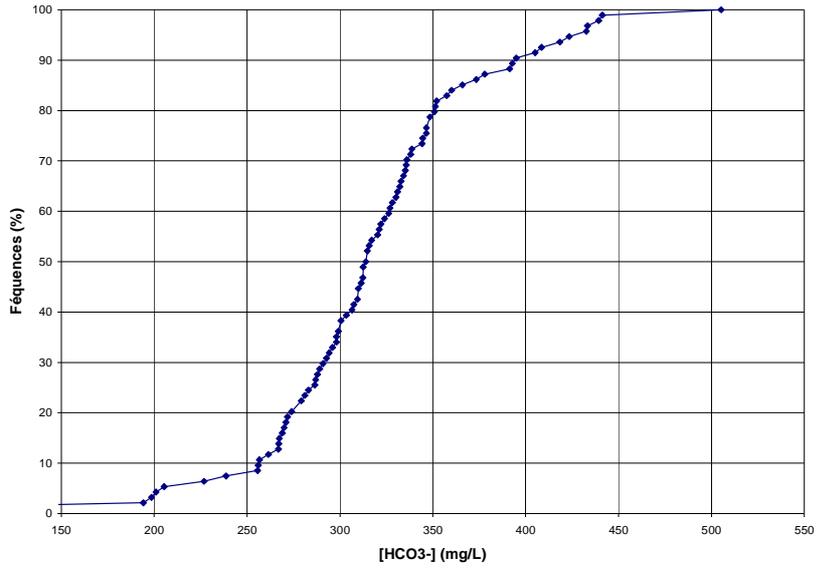
Les concentrations moyennes en HCO_3^- des sources du karst de Sauveterre 317 mg/l sont élevées par rapport aux concentrations connues sur d'autres régions karstiques, Jura (280 mg/l), Fontaine de Vaucluse (260 mg/l), et même Larzac (250 mg/l). Une dizaine de sources ont des concentrations dépassant les 400 mg/l.

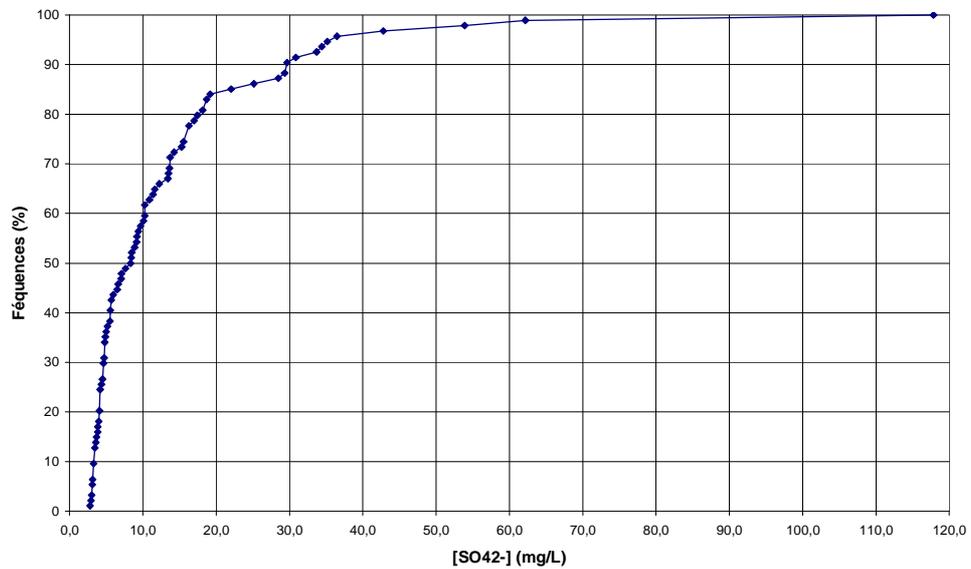
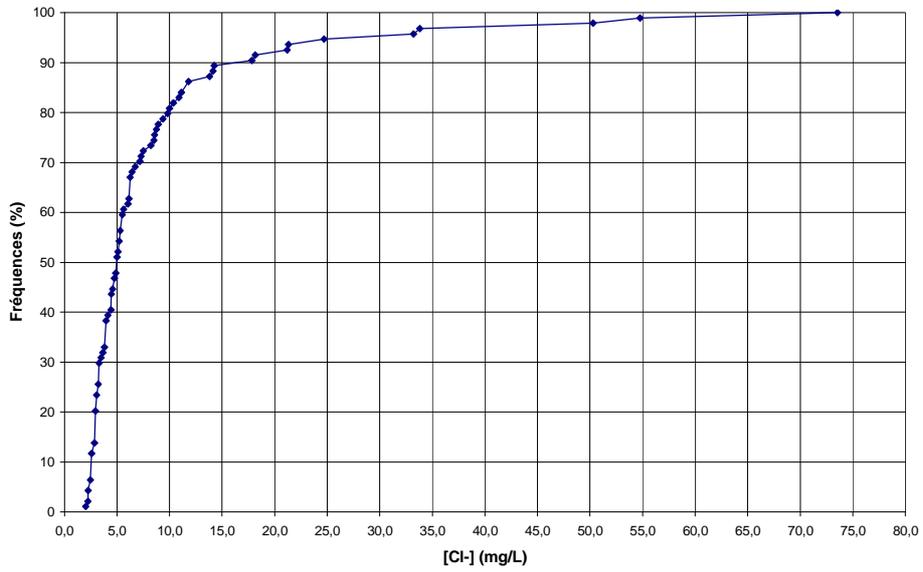
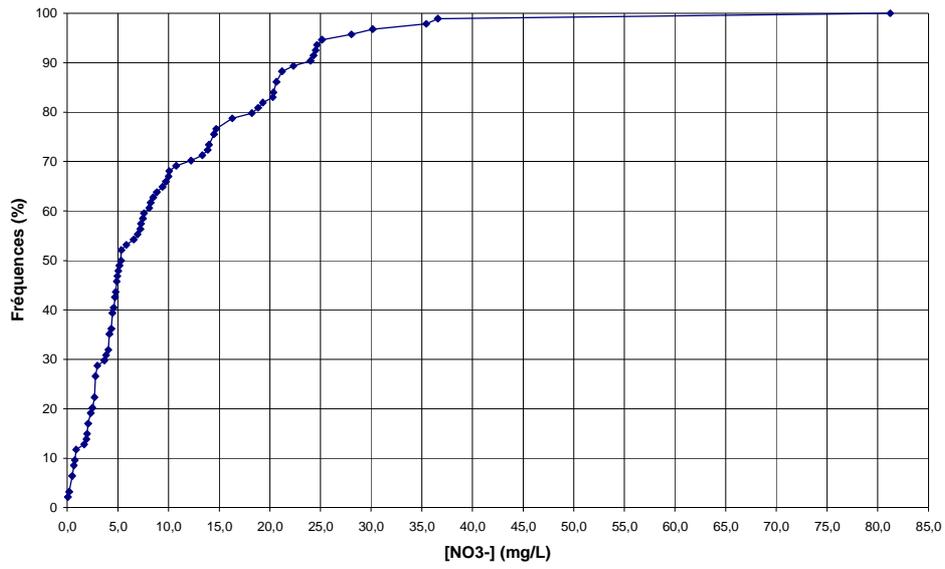
Les teneurs minimales en bicarbonates (56 mg/l) calcium (11,3) et magnésium (1,1) appartiennent à la source de Montaliès dont la minéralisation et la conductivité électrique (143 $\mu\text{S}/\text{cm}$) s'apparentent à celle d'une eau de terrain cristallophyllien. C'est pourquoi cette source n'a pas été prise en compte dans les traitements statistiques (corrélations et A.C.P.). La source du forage de Trébans a aussi été écartée des traitements statistiques parce qu'elle présente une teneur très élevée en sodium (120 mg/l) et surtout un profil bicarbonaté sodique (cf. fig.). Sa prise en compte dans les corrélations ferait disparaître l'excellente corrélation qui existe entre chlorure et sodium.

Les valeurs médiane et moyenne des concentrations en nitrates sont faibles. Une seule source dépasse le seuil de potabilité de 50 mg/l et cinq seulement ont des concentrations supérieures à 25 mg/l.

Figure 60 : Distribution des éléments marqueurs du réservoir

Figure 61 : Distribution des éléments anthropiques





4.4.1.3 Indications sur l'origine des éléments

4.4.1.3.1 Les marqueurs du réservoir

Les bicarbonates

Les bicarbonates résultant de l'attaque des calcaires et des dolomies par les eaux enrichies en CO₂ à la traversée du sol constituent l'anion majeur des points d'eau du karst.

Si l'on exclut la source de socle de Montaliès et quelques sources probablement affectées par une précipitation de carbonate de calcium avant le prélèvement de l'échantillon ou lors de sa conservation, les concentrations les plus basses débutent vers 230 mg/l. Elles correspondent à des fontaines et des petites sources.

Entre 250 et 350 mg/l se regroupent les trois quarts des sources et on remarque que toutes les sources d'ordre I à II à gros débit figurent dans cet intervalle. La moyenne des teneurs des sources jaugées s'élève effectivement à 295 mg/l, valeur inférieure à celle de l'ensemble (318 mg/l).

Les teneurs supérieures à 350 mg/l sont assez surprenantes dans un tel contexte et tout particulièrement les plus fortes qui dépassent les 400 mg/l. On verra que ces sources sont aussi celles qui ont les plus fortes teneurs en magnésium et sont issues d'un milieu essentiellement dolomitique, le plus souvent les dolomies de l'Hettangien mais quelquefois celles du Dogger. Il faut y voir la marque d'une circulation plus lente dans ce milieu avec des temps de séjour plus élevés permettant d'approcher la saturation vis à vis de la calcite.

Ces valeurs imposent à l'origine une pCO₂ des sols ou dans le milieu souterrain de l'ordre de 2 % ce qui semble possible puisqu'on les retrouve dans quelques sources non dégazées issues du milieu franchement calcaire.

Cette explication la plus plausible est toutefois remise en cause par la source du Mt-Rouch n° 2 qui, issue d'un milieu essentiellement calcaire, présente une teneur en HCO₃⁻ de 392 mg/l et un pH de 7,0 ce qui correspond à une pCO₂ de 3,5 %. L'hypothèse d'exhalation diffuse de CO₂ par des accidents N.W – S.E mériterait peut-être d'être étudiée d'autant que les sources anomaliques sont souvent proches de formations basaltiques ou de pépérites perçant la couverture sédimentaire.

Le fait que les plus fortes concentrations en bicarbonates accompagnent les plus fortes en magnésium permet de comprendre pourquoi la corrélation est meilleure entre HCO₃ et Mg (0,56) qu'entre HCO₃ et Ca (0,51).

La dureté des eaux : le calcium et le magnésium

Le calcium est mis en solution lors de l'attaque des calcaires. Le calcium et le magnésium sont libérés en quantités molaires égales lors de l'attaque de la dolomie. Il est donc logique de trouver une excellente corrélation entre bicarbonates et la somme

calcium + magnésium puisque dans ce contexte karstique le pouvoir agressif de l'eau riche en CO_2 s'exerce essentiellement aux dépens de calcaires et dolomies.

Les corrélations entre bicarbonates et calcium (0,51) et entre bicarbonates et magnésium (0,56) sont moins significatives parce que :

- la géologie est complexe et les surfaces occupées par les calcaires et les dolomies sont très variables sur les bassins d'alimentation des sources
- on peut avoir à faire à des roches intermédiaires (calcaires magnésiens) et leur composition peut varier dans l'espace
- des précipitations de Ca CO_3 peuvent affecter le calcium comme des évolutions chimiques qui se manifestent quand les temps de séjour de l'eau deviennent grands.

Sur les analyses du suivi des sources d'ordre I et II on verra qu'il existe une corrélation inverse significative entre calcium et magnésium. Le rapport Ca/Mg a donc été choisi comme indicateur de la nature du réservoir des sources. Sa distribution (cf. fig.) permet de distinguer différentes familles de sources :

- aux deux extrémités les sources dont le rapport molaire Ca/Mg est supérieur à 8 sont issues d'un milieu calcaire alors que les sources dont le rapport est compris entre 1 et 2 sont issues d'un milieu essentiellement dolomitique.
- entre ces deux familles deux groupements intermédiaires se dessinent l'un avec un rapport compris entre 5 et 7 indiquant la prédominance des calcaires sur le bassin d'alimentation, l'autre avec un rapport allant de 2,5 à 4 indiquant un partage entre calcaires et dolomies sur le bassin versant des sources.



Figure 62 : Distribution du rapport Ca/Mg

Au milieu uniquement calcaire appartiennent les sources de Mont-Rouch et de Galinières à l'extrémité Nord-Ouest du Causse de Sauveterre entre le grand accident NW-SE qui l'affaisse au contact du Lias et la vallée de la Serre au Nord. La source d'Esparses 2 appartient au même contexte. Les circulations s'effectuent dans les calcaires lithographiques du Bathonien. La

source de Pertuzade perchée sur le causse au N.E. en bordure d'une doline doit drainer une butte de Dogger calcaire.

Les sources dont le rapport Ca/Mg est compris entre 5 et 7 s'apparentent au groupe précédent avec la **présence majoritaire des calcaires**. C'est le cas de l'extrémité N.W. du Causse de Sauveterre avec par exemple les sources d'Orbis, Lenne et du Vialaret sur la bordure Nord et Esparse, Résuenhe et Moulin de Maffre sur la bordure Sud. C'est aussi le cas de la bordure N.W. du Karst de Massegros avec les sources de Bellas et des Douzes. Les circulations s'effectuent dans les calcaires lithographiques du Bathonien et se terminent sur les dolomies brunes du Bajocien. Quelques sources plus rares sont issues du Lias calcaire (calcarénites) comme Samonta au Sud et Courlinaux 2 et Colombier au Nord de la Serre. Enfin une source d'alimentation locale perchée sur le karst, le Recoux-cimetière, tire son profil des calcaires oolithiques du Malm.

Le milieu dolomitique est bien représenté avec de nombreuses sources aux bassins versants limités dont les rapports Ca/Mg sont compris entre 1 et 2,2 :

- Ce sont typiquement les sources du Lias dolomitique (Hettangien), celles qui se manifestent de part et d'autre des affleurements de Lias entre la vallée de l'Aveyron et la grande faille des Vignes, Trivalle, Cornuejols, Gaillac d'Aveyron, Gagnac au Sud et source des Fonds, Rouquet, Pouzets, de la Tine et de Terron au Nord, celles qui apparaissent au Nord de la Serre sur le rebord de l'Avant-Causse, Aiguevives 2, Bois Countat, Bouissettes, la Borie et Glassac 2 et enfin celles qui apparaissent dans la partie Sud de l'étude entre l'autoroute et Mostuejols, comme Fontaine d'Argeliès, Dragonnières, Muraillassa, Trébans, Léounes et Fontcaud.

- Ce sont aussi les sources qui apparaissent sur les marnes du Toarcien, à la base du Dogger et ont leur circuit essentiellement limité aux dolomies brunes du Bajocien. C'est le cas des sources du Téron, de la Serre et de Grun sur la bordure Nord du Causse de Sauveterre, de celle de l'Aveyron, de celles de l'extrémité Sud de l'étude à proximité du Tarn, Vialaret, Mas de Lafon 1 et 2, la Muse 1, du Château, près de la route. On suppose que les bassins du Mas de Lafon et de la Muse plus étendus débordent les seules assises du Bajocien mais une bonne partie de leur zone d'alimentation sur le Causse est également couverte par les dolomies, celles du Kimméridgien.

- Ce sont enfin quelques sources perchées sur le karst à l'Est, qui drainent localement des dolomies massives du Kimméridgien (Fontaine des Fonds) et vraisemblablement des dolomies épaisses du Bathonien (source du Duc).

On signalera que la moyenne des teneurs en bicarbonates des sources dolomitiques qui s'élève à 343 mg/l est supérieure à celle de l'ensemble des sources (318 mg/l).

Entre ces deux familles extrêmes et leurs apparentements on trouve des sources dont les rapports Ca/Mg vont de 2,5 à 4,1 caractérisées par un **partage entre calcaires et dolomies** dans leur bassin versant avec prédominance de l'un ou de l'autre pour les valeurs limites du groupe. On trouve dans ce groupe les principales sources karstiques, celles dont le bassin versant plus étendu implique une plus grande diversité géologique. La quasi totalité des sources jaugées appartient à ce groupe.

De part et d'autre du Causse de Sauveterre, sur la reculée méridionale les sources de Mayrinhac (Ca/Mg = 3,22) et de Ségala (4,00), sur la reculée Nord celles de Lestang (3,82) de Duc (4,10) et de Roquaizou (3,24) drainent les calcaires lithographiques du Bathonien et les dolomies brunes sous-jacentes du Bajocien. Dans leur prolongement vers l'Est et jusqu'à la rivière Tarn le très grand bassin des sources de Beldoire (2,80) connaît dans sa partie orientale un recouvrement de ces assises par les dolomies du Malm ce qui explique la baisse du rapport Ca/Mg. Au Sud de Séverac le Château, les bordures Ouest et Nord du Causse du Massegros voient les sources de Verlenque (3,58), Bastide (3,03) et Cayrac (2,27) drainer les calcaires lithographiques du Bathonien avec un volume croissant de dolomies brunes sous-jacentes. Le très grand bassin de la source de Rouveyrol (2,97) mis en évidence par les traçages draine vers le Tarn des terrains de même nature.

On trouve aussi dans ce groupe la source de la Roque (3,24) qui traverse les calcaires et dolomies du Lias au Nord de Séverac le Château, celles de Fontfrège (3,33), de Glassac (3,15) et de Courtinaux (2,73) qui drainent ces mêmes terrains au niveau de la reculée Nord de l'avant-Causse, et celle de Bertoïde (3,72) au Sud.

La localisation sur la carte (cf. fig.) des teneurs élevées en magnésium correspond aux affleurements de terrains liasiques, la reculée Nord des avant-Causse, la combe anticlinale de la dépression de Séverac-le-Château et le Sud de la faille des Palanges, à quelques rares exceptions. Il s'agit de la terminaison Sud-Est du Causse de Massegros où affleurent les dolomies du Kimméridgien et de la bordure du Causse de Sauveterre quand affleurent les dolomies brunes du Bajocien.

Dans une interprétation qui minimise les modifications pouvant intervenir avec le temps de séjour de l'eau (dédolomitisation) et les altérations de composition lors du prélèvement ou la conservation de l'échantillon, on peut donc **proposer le rapport Ca/Mg comme un indicateur du pourcentage de roches dolomitiques** dans le système karstique.

Une illustration de l'effet de l'altération de l'eau avant l'analyse est fournie par le groupement des sources de Verteilhac – Canilhac.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Ca/Mg
Verteilhac 2	72,9	11,4	281	3,9
Verteilhac	46,5	10,8	199	2,6
Canilhac	43,3	10,6	194	2,5

Celle de Verteilhac 2 a le rapport Ca/Mg des sources drainant les calcaires lithographiques du Bathonien et des dolomies brunes du Bajocien de la reculée Nord. Celles très proches de Verteilhac et Canilhac présentent un rapport plus bas, artificiellement du à la précipitation de Ca CO₃ (baisse de HCO₃⁻) sans que leur bassin versant soit différent. Il en est de même de la source de Lenne comparée à Orbis 1 et 2.

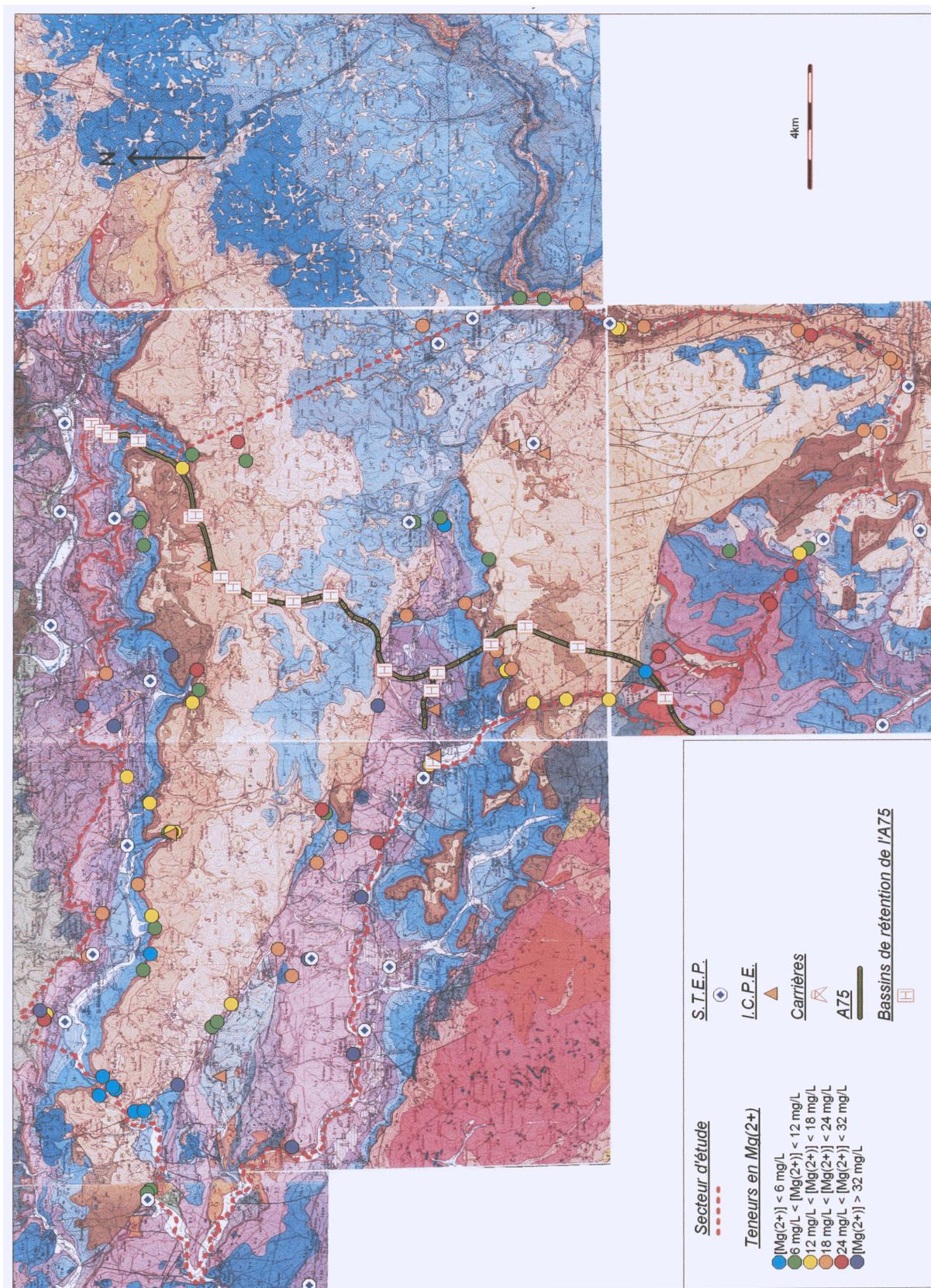


Figure 63 : Carte des teneurs en magnésium

La silice dissoute

Les teneurs en silice des points d'eau du Causse de Sauveterre restent faibles, comprises entre 2,9 et 15,7 mg/l. Leur distribution entre ces deux extrêmes permet cependant de différencier quatre familles d'eau (cf. figures).

La silice dissoute ne présente aucune corrélation significative avec les autres éléments majeurs lors de cette campagne d'étiage 2003 mais lors du suivi mensuel sur un échantillonnage plus homogène nous verrons que la silice est corrélée avec les nitrates et de façon moins significative avec les chlorures et le sodium. Ces relations indiquent une même origine dans les sols. Les fortes valeurs en silice s'expliquent par la présence des formations superficielles sur le bassin versant des sources.

Plusieurs formations sont cependant à l'origine des teneurs supérieures à 12 mg/l :

- une connexion avec un amont cristallin par des épandages allochtones en provenance des terrains permotriassiques de la terminaison orientale du massif ancien du Lézou. Ces cas sont nombreux au Sud de la zone d'étude, source de Montaliès qui a un faciès de terrain cristallin, Fontaine d'Argeliès, sources de Verlenque, Bastide, Cayrac et de Rouveyrol dont on confirme par son marquage naturel les apports en provenance des pertes de Sagne et du Souci mises en évidence par un traçage artificiel. Sur les affleurements du Lias dolomitique près de Buzeins, la Fontaine de Tine et la source du Terron tirent aussi leur concentration de la proximité des terrains siliceux antetriassiques et sans doute de l'environ immédiat d'une intrusion basaltique.

- La présence des accumulations d'argiles à chailles dans les dépressions développées dans les calcaires et dolomies du Bajocien – Bathonien du bassin versant. C'est le cas de la source de Roquaizou, peut être pour partie aussi la source de Cayrac déjà citée.

Le remplissage avec des formations apparentées au Crétacé (argiles sableuses versicolores) des dolines du karst de Sauveterre comme on l'observe pour la source de Pertuzade.

Parmi les sources dont la teneur en silice est comprise entre 9 et 12 mg/l on retrouve les sources apparentées aux précédentes, celles en connexion avec l'amont cristallin, de Murailasse et Cayrac 2, celles liées à la présence d'argile à chailles comme la source du Château, celles enfin s'infiltrant dans les dolines remplies d'argiles sableuses versicolores, le Recoux (cimetière). A ce groupe appartiennent des sources dont la silice qui s'accompagne de teneurs remarquables en sulfates doit avoir pour origine une circulation sur les marnes grises à fossiles pyriteux du Toarcien, puits des Tassières, sources des Douzes, Près de la route, Samonta, Fontfrège et Glassac 2.

La source de Beldoire s'apparente à ce groupe mais peut aussi s'enrichir en silice lors des infiltrations des eaux de pluie dans les dolines du Causse Est de Sauveterre à remplissage sableux crétacé ou ancien maars volcaniques.

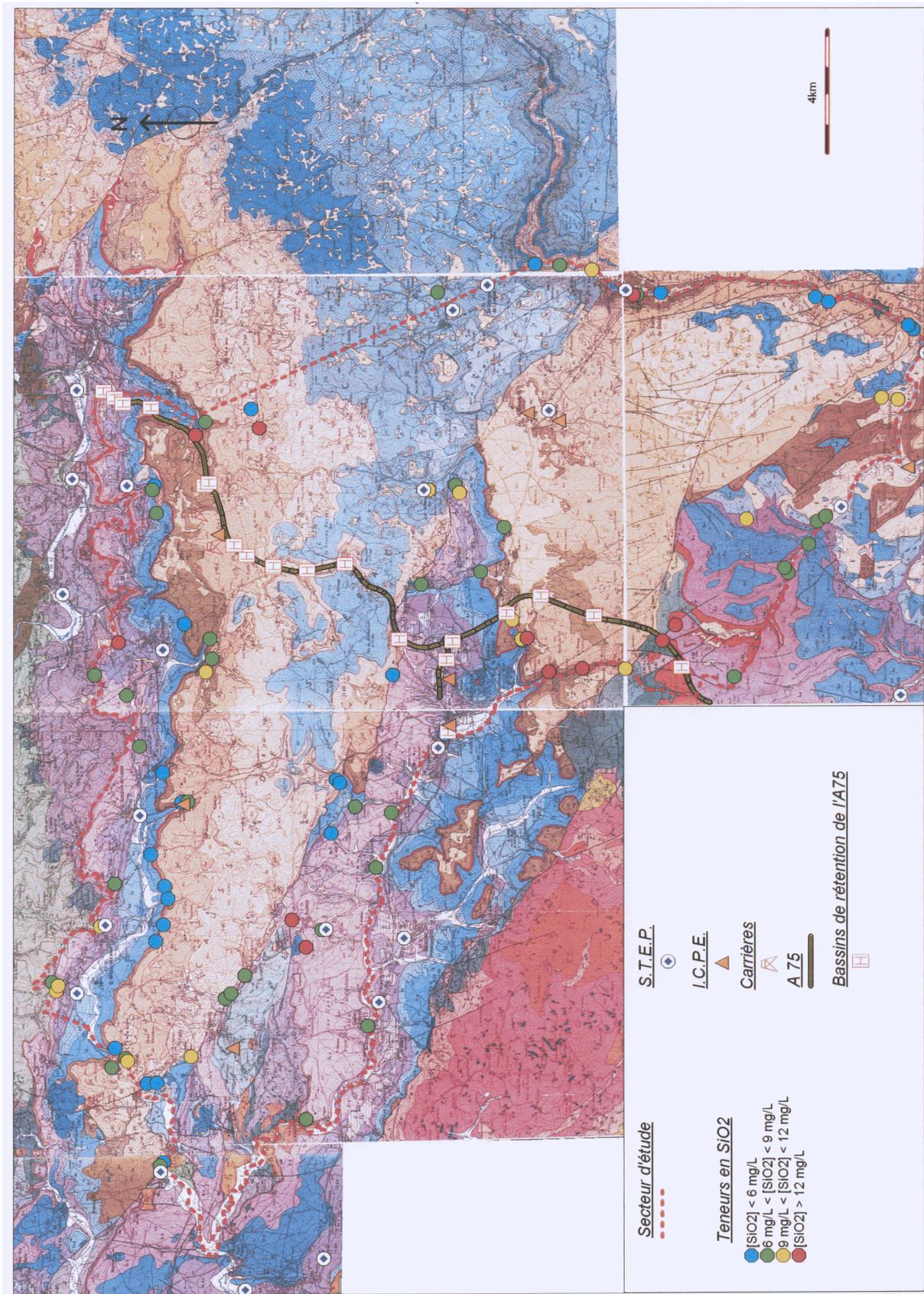


Figure 64 : Carte des teneurs en silice

4.4.1.3.2 Les marqueurs d'impact anthropique

(cf. chapitre Incidence des activités humaines et mesures de protection)

4.4.1.3.3 Un marqueur ambigu : les sulfates

Les sulfates ne présentent aucune corrélation significative avec les autres éléments chimiques. Une relation assez nette a cependant été trouvée entre sulfate et nitrate pour un grand nombre de points d'eau dont la teneur en sulfate ne dépasse pas 20 mg/l (cf. fig.). Les concentrations de sulfate croissent avec celles des nitrates et une origine anthropique des sulfates est vraisemblable.

Toutefois, une douzaine de points d'eau dont les teneurs en SO_4 avoisinent et dépassent 30 mg/l échappent à cette tendance. Une origine géologique de ces sulfates doit alors être recherchée et un caractère commun à presque tous ces points est leur contact avec le Lias marneux et tout spécialement les marnes grises à fossiles pyriteux du Toarcien. C'est le cas des puits des Tassières et du Villaret, des sources de Verteilhac 2 et du Vialaret ; c'est probable pour les sources des Douzes et Fontcaud ; possible à Fontfrège si la source est alimentée par des pertes de la vallée liasique de la Serre. Ce ne peut être le cas à Gagnac où il faut invoquer les argilites du trias (forte teneur en potassium) et il est difficile d'expliquer la teneur de la source de Gaillac d'Aveyron, la plus forte (118 mg/l) de la campagne d'été, mais retombée à 38 mg/l lors de la campagne de mai 2004 (pollution + Trias ?).

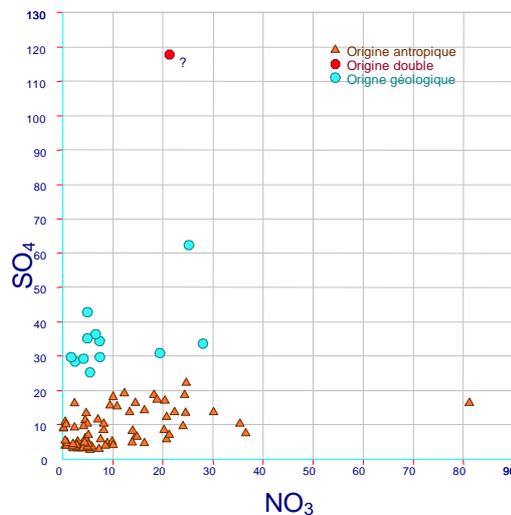


Figure 65 : Relation nitrates – sulfates de la campagne d'été

L'origine des teneurs élevées en sulfate est donc double. Le sulfate est un marqueur géologique dans la mesure où l'eau n'est pas affectée par une pollution identifiable avec les excès en nitrate et chlorure. La situation des points répartis en 6 classes de teneur croissante en sulfate sur la carte géologique (cf. fig.) rend bien compte de cette ambiguïté.

En ce qui concerne les sources de Beldoire et du Pas de Soucy qui présentent des teneurs remarquables en sulfate et peu d'impact anthropique, il faut remarquer que le Tarn a creusé jusqu'aux marnes du Lias au voisinage de la faille des Vignes et envisager une circulation souterraine amont profonde au contact des schistes pyriteux.

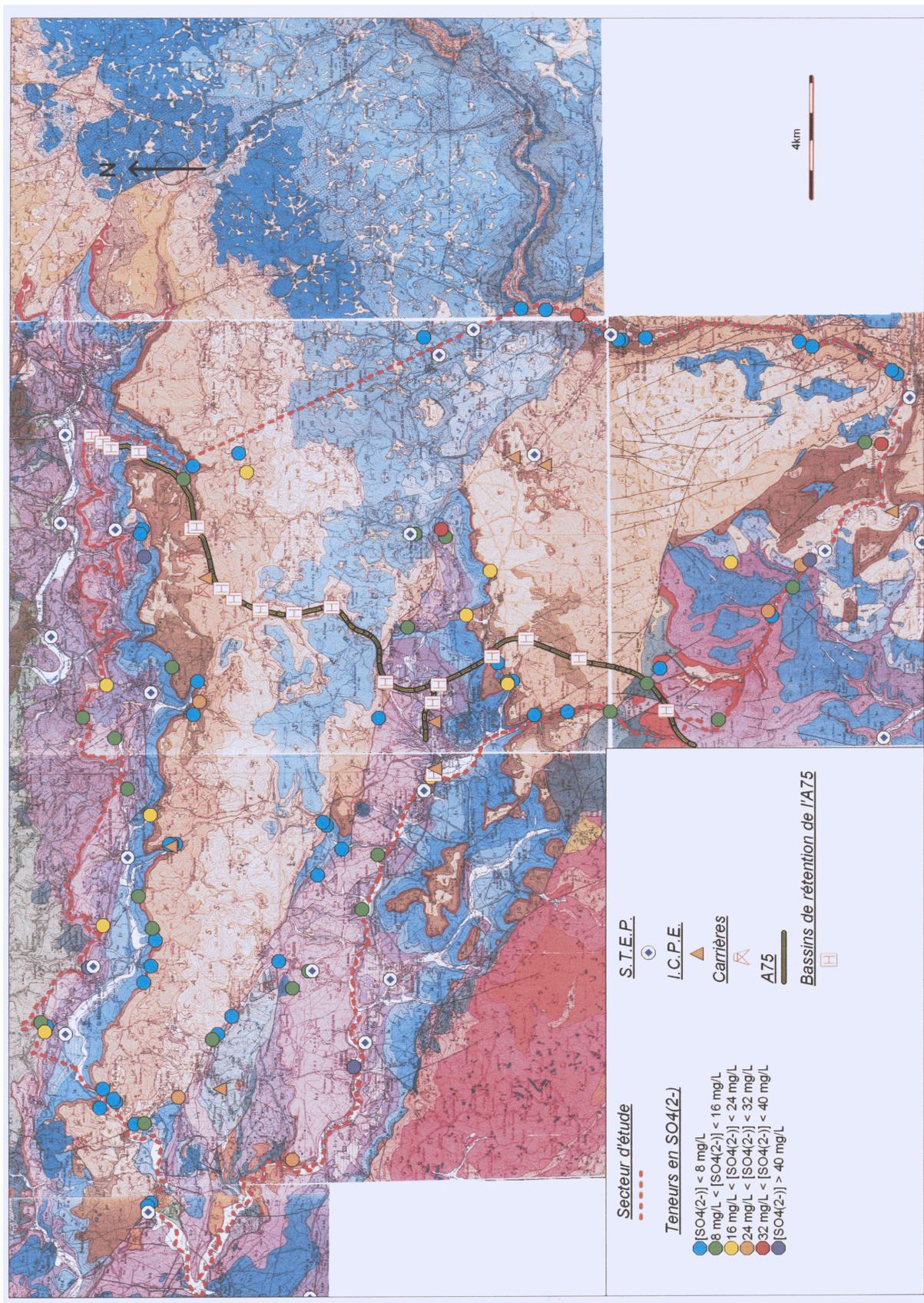


Figure 66 : Carte des teneurs en sulfates

4.4.1.4 Les résultats de la campagne de Mai 2004

La campagne de hautes eaux n'ayant pas pu être faite pendant le suivi mensuel a été reportée en mai 2004. Elle comporte 92 prélèvements et intéresse en fait une période de moyennes eaux.

Les résultats des analyses chimiques sont rassemblés dans le tableau en annexe. Il a été démontré que le dosage des carbonates a été affecté par une mauvaise conservation qui a entraîné une précipitation de bicarbonate de calcium sur le seul échantillon réservé à leur mesure (voir introduction et fig.). Les concentrations en HCO_3^- ne seront donc pas utilisées dans les traitements statistiques et dans les comparaisons avec la campagne de juin 2003.

4.4.1.4.1 Indications complémentaires des corrélations entre éléments

Nous avons pris en compte dans une analyse en composantes principales les eaux prélevées en mai 2004 à l'exception du forage de Trébans et de la source de Montaliès aux profils chimiques trop différents. Les variables utilisés sont le pH, la conductivité électrique, les 4 cations majeurs, les 3 anions Cl^- , NO_3^- et SO_4^{2-} et la silice dissoute. Les bicarbonates, la pCO_2 et l'indice de saturation vis à vis de la calcite n'ont pas été pris en compte à la différence de l'ACP sur les analyses de juin 2003.

Les relations entre les descripteurs figurent dans la matrice des corrélations (cf. tableau) et sont comparées à celles obtenues par l'ACP sur les données d'étiage.

	pH	cond	Cl	NO_3	SO_4	Ca	Mg	Na	K	SiO_2
pH	1,00	-0,26	0,07	-0,04	-0,08	-0,29	0,01	0,09	0,14	0,06
cond	-0,26	1,00	0,27	0,32	0,35	0,51	0,53	0,24	0,18	0,03
Cl	0,07	0,27	1,00	0,53	0,32	0,25	0,17	0,91	0,32	0,48
NO_3	-0,04	0,32	0,53	1,00	0,15	0,31	0,19	0,45	0,46	0,41
SO_4	-0,08	0,35	0,32	0,15	1,00	0,22	0,19	0,37	0,23	0,36
Ca	-0,29	0,51	0,25	0,31	0,22	1,00	-0,01	0,26	0,18	0,08
Mg	0,01	0,53	0,17	0,19	0,19	-0,01	1,00	0,14	0,13	0,10
Na	0,09	0,24	0,91	0,45	0,37	0,26	0,14	1,00	0,48	0,48
K	0,14	0,18	0,32	0,46	0,23	0,18	0,13	0,48	1,00	0,47
SiO_2	0,06	0,03	0,48	0,41	0,36	0,08	0,10	0,48	0,47	1,00

Figure 67 : Corrélations de la campagne de mai 2004

Dans le tableau on relève :

- une corrélation significative entre conductivité et magnésium (0,53) et entre conductivité et calcium (0,51) qui n'apparaissent pas en étiage.
- toujours une excellente corrélation entre chlorure et sodium (0,91) alors que celle entre nitrate et potassium n'est plus significative, mais de peu (0,46) et qu'une corrélation apparaît entre chlorure et nitrate (0,53) (cf. fig.).

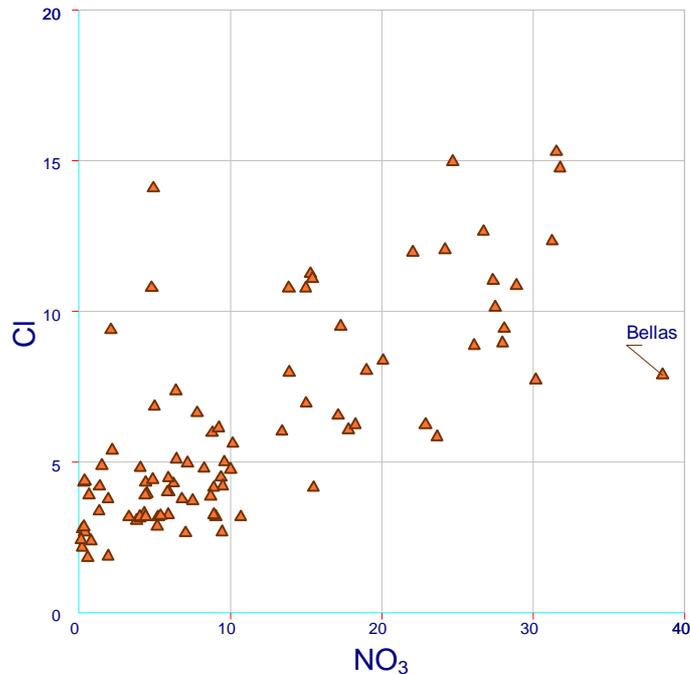


Figure 68 : Relation nitrates-chlorures de la campagne de mai 2004

La figure ci-jointe présente le cercle des corrélations pour les plans I – II et la figure suivante, le diagramme des échantillons d'eau dans le plan correspondant. Les axes I et II expriment respectivement 36 % et 17 % de la variance.

- L'axe I voit l'atteinte anthropique des systèmes marquée par NO_3^- , Cl^- et Na^+ et à un degré moindre par SO_4^{2-} et K^+ , augmenter de la gauche vers la droite. Dans le diagramme des échantillons, les sources exemptes de pollution comme Léoune (n° 50), Mas de Lafon (n° 58) et Colérat (n° 64), s'opposent aux sources polluées comme Fontfrège (n° 63), Courtinaux 2 (n° 74), Douze (n° 7), Gagnac (n° 22), Près de la route (n° 54).

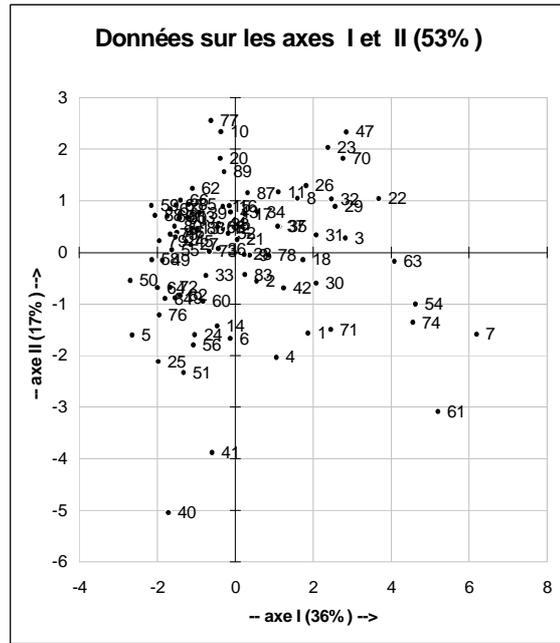
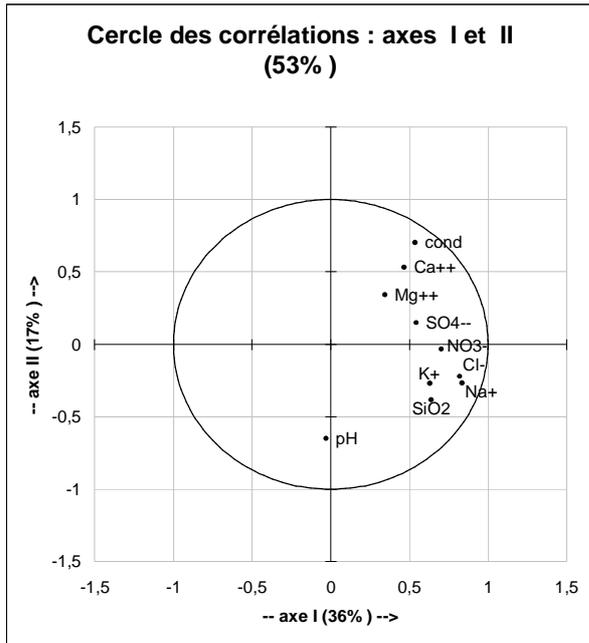


Figure 69 : Cercle des corrélations axes I et II

Figure 70 : Données sur les axes I et II

- L'axe II oppose la conductivité, le calcium et le magnésium au pH. Sur l'axe II, la dureté, la conductivité induite et sans doute les bicarbonates non dosés augmentent du bas vers le haut tandis que le pH diminue. On trouve donc dans la partie basse du diagramme des échantillons, les eaux à pH élevé proche de 8 ayant dégazé et subi une précipitation, comme les sources aval-Mayrinhac (n° 40), Parayre scierie (n° 41), Canilhac (n° 25) et Liaucous (n° 61) aussi influencée par la pollution. On trouve dans le haut du diagramme les eaux à conductivité et dureté très élevées qui correspondent en fait à deux faciès d'eau très différents, celles issues des dolomies comme le Rouquet (n° 10), le Duc (n° 20), Gaillac (n° 23) et Fontcaud (n° 47) toutes deux polluées, et celles issues d'un calcaire franc comme Lenne (n° 62), la Fontaine d'Orbis (n° 89) ou Le Colombier (n° 87).

4.4.1.4.2 Comparaisons avec la campagne d'étiage de juin 2003

Les deux campagnes, celle de mai 2004 en période d'eaux moyennes à fortes et celle d'étiage prononcé de juin 2003 comportent une soixantaine de prélèvements communs. Les teneurs moyennes des éléments majeurs de chacune des campagnes sont comparées dans le tableau suivant.

	T°C	pH	$\chi_{25^\circ\text{C}}$	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	SiO ₂
Juin 2003	12,2	7,45	555	74,6	18,2	3,4	1,8	316	9,0	12,0	15,1	7,3
Mai 2004	11,5	7,55	551	78,2	18,4	2,7	1,7		6,6	11,7	12,3	5,6

Figure 71 : Tableau - Comparaison des teneurs moyennes des deux campagnes

Les conductivités électriques moyennes des 2 campagnes sont identiques mais cette égalité peut cacher des compensations de valeur très différentes. Les teneurs moyennes en magnésium, potassium et nitrates restent les mêmes tandis que le pH et le calcium présentent des valeurs légèrement inférieures en été à l'inverse de la température, les chlorures et le sodium, les sulfates et la silice dissoute qui présentent des concentrations moyennes légèrement supérieures en été.

Pour mieux comprendre ces différences, la concentration d'un élément pendant la première campagne a été reportée en fonction de la concentration de la même source pendant la deuxième campagne sur un diagramme x – y où la bissectrice représente l'égalité et donc la constance. Ceci a été répété pour tous les échantillons communs, pour le magnésium et la silice marqueurs du réservoir, les chlorures et les nitrates marqueurs anthropiques et le sulfate marqueur mixte.

On observe sur la figure jointe que le magnésium change peu entre les deux campagnes avec cependant des teneurs plus élevées en juin 2003 pour les concentrations inférieures à 30 mg/l. Cette augmentation semble s'accompagner d'une baisse concomitante du calcium pour ces mêmes eaux, c'est à dire celles issues d'un réservoir plutôt calcaire. Pour les concentrations en magnésium supérieures à 30 mg/l, les teneurs paraissent au contraire plus basses en juin 2003 ce qui explique la constance des moyennes.

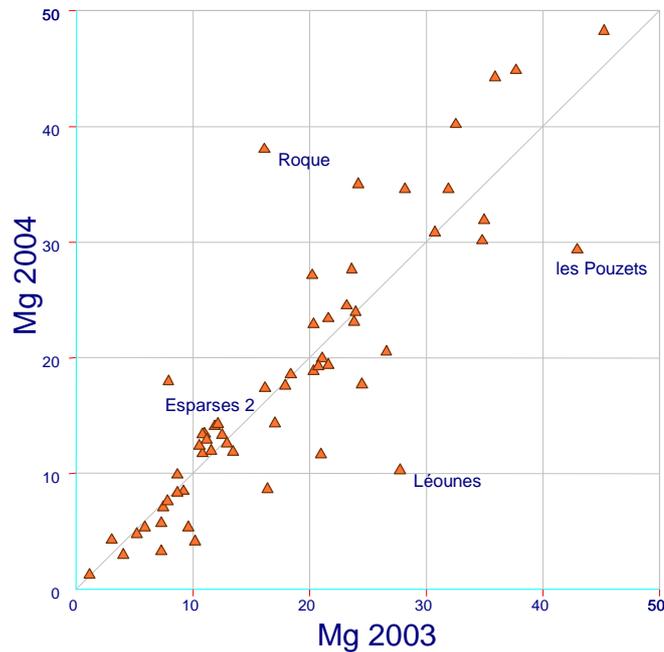


Figure 72 : Comparaison des teneurs en magnésium des deux campagnes

Les teneurs en silice (cf. fig.) sont plus élevées lors de la campagne d'été à cause de l'augmentation de la part d'eau des réserves à long temps de séjour.

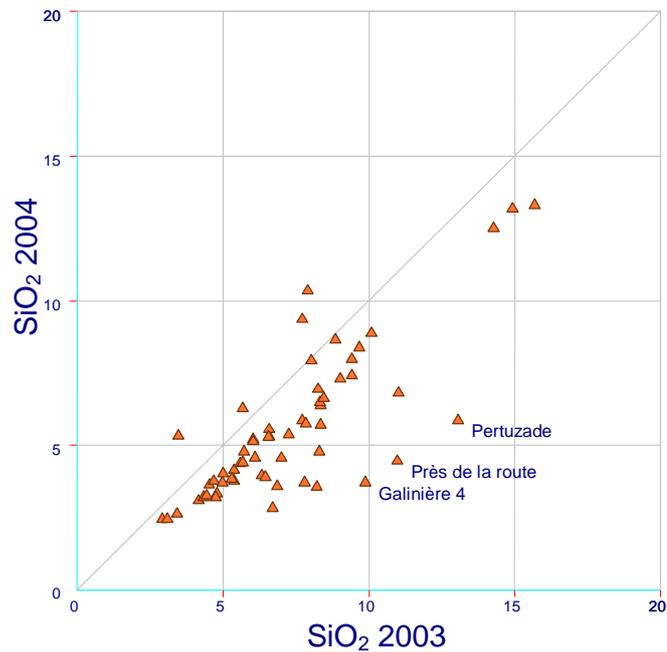


Figure 73 : Comparaison des teneurs en silice des deux campagnes

Les teneurs en chlorures (cf. fig.) sont plus fortes en été 2003 avec quelques valeurs excessives comme celles des sources Le Parisien, des Douzes ou de Fontfrège. Comme il s'agit d'un élément anthropique, on peut envisager des entrées polluantes à flux constant dans le système karstique qui se trouveraient diluées en hautes eaux par les infiltrations des pluies. Les sulfates (cf. fig.) ont le même comportement qui accredit leur origine anthropique plutôt que géologique.

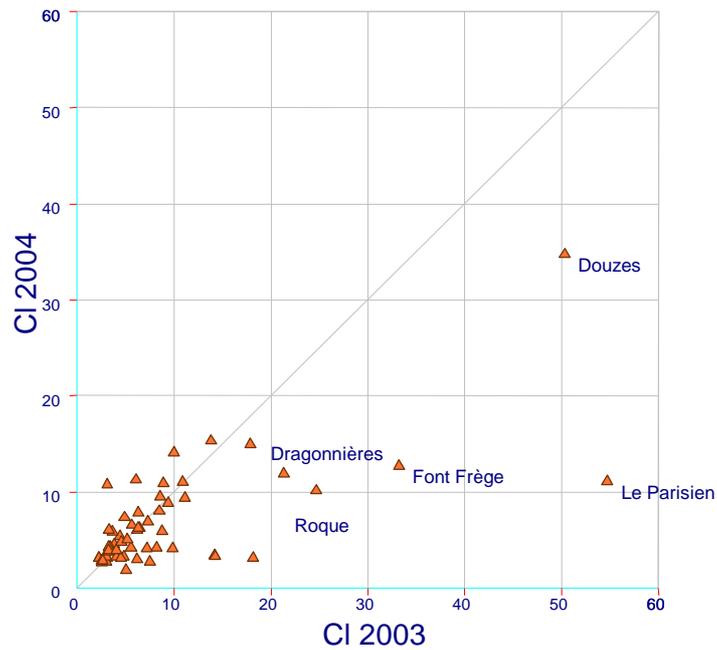


Figure 74 : Comparaison des teneurs en chlorures des deux campagnes

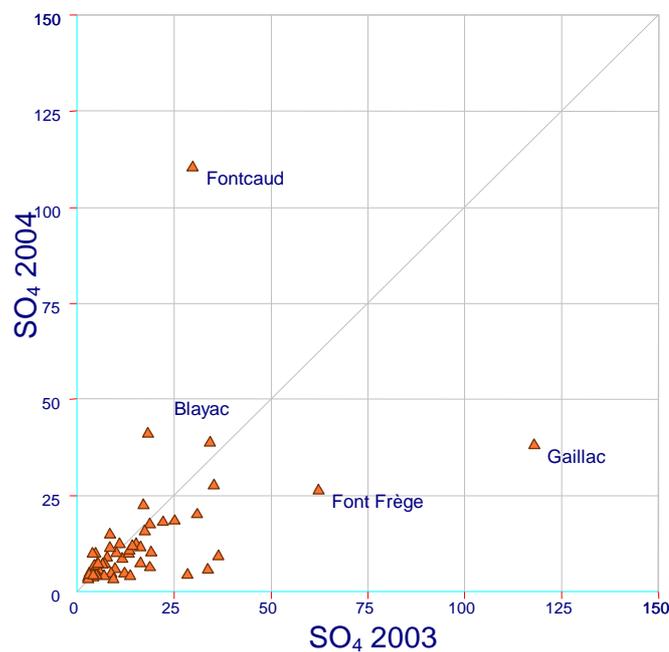


Figure 75 : Comparaison des teneurs en sulfates des deux campagnes

Les teneurs en nitrates (cf. fig.) sont beaucoup plus élevées en étiage pour quelques sources polluées comme Pertuzade, Cornuejols et Près de la route, mais de nombreuses autres sources sont plus concentrées en moyennes eaux. (Thérond, Roque, Bellas...). A

l'exception des premiers systèmes soumis à des pollutions chroniques et accusant une dilution en moyennes eaux, l'augmentation des autres pendant cette même période s'expliquerait par le fait que les nitrates sont plutôt entraînés depuis les sols par les eaux de ruissellement.

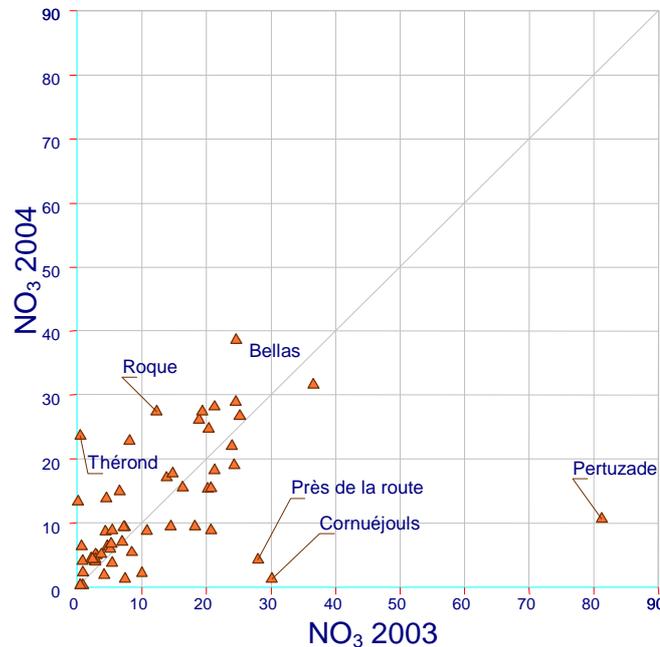


Figure 76 : Comparaison des teneurs en nitrates des deux campagnes

4.4.2 Le suivi mensuel sur un cycle hydrologique : septembre 2002 – août 2003

4.4.2.1 Les données

Ce suivi a porté sur les 18 sources karstiques de catégorie 1 et 2 équipées de stations de jaugeage. Un point supplémentaire, le Pas de Soucy, a été ajouté à la tournée des prélèvements effectués sur deux jours d'affilée pour bénéficier de conditions hydrologiques proches. Cette source, en tous points identiques à Beldoire a été abandonnée en avril 2003 et remplacée par le Tarn qui a été prélevé d'avril à août 2003 au droit de l'exurgence de Fontmaure pour préciser les relations de cette dernière avec la rivière.

Tous les résultats analytiques sont rassemblés par campagne mensuelle dans les annexes. Ils concernent 227 analyses des éléments majeurs dont les balances ioniques ont été validées. Les mesures des paramètres physico-chimiques ont été effectuées sur le terrain, au captage de la source ou au plus près de l'émergence. En effet pour des raisons d'accessibilité dans un temps raisonnable, quelques points ont du être échantillonnés en aval de leur émergence près de la station de jaugeage. La mesure de leur température en est affectée en saison chaude ou froide comme par exemple à Glassac et à Duc. Mais surtout le pH (avec les calculs qui l'utilisent) est affecté par l'aération, comme on l'observe à Glassac, Duc et Serre. Cette aération peut être aussi due aux conditions d'émergence comme à Ségala ou Courtinaux.

Les conductivités électriques des échantillons ont été reconstituées à partir des résultats de l'analyse chimique en sommant les contributions de chacun des anions et cations majeurs. Elles ont été comparées aux conductivités mesurées (cf. fig.). Elles sont très proches sauf pour la campagne de mai 2003 et une partie de celle de juin pour lesquelles la conductivité mesurée est très inférieure à la conductivité calculée. Cette différence met en évidence une erreur d'étalonnage par défaut du conductimètre qui a d'ailleurs été décelée et corrigée au milieu de la campagne de juin 2003. Les conductivités de mai peuvent ainsi être corrigées d'un facteur 1,33 et celles de la première journée de juin d'un facteur 1,25.

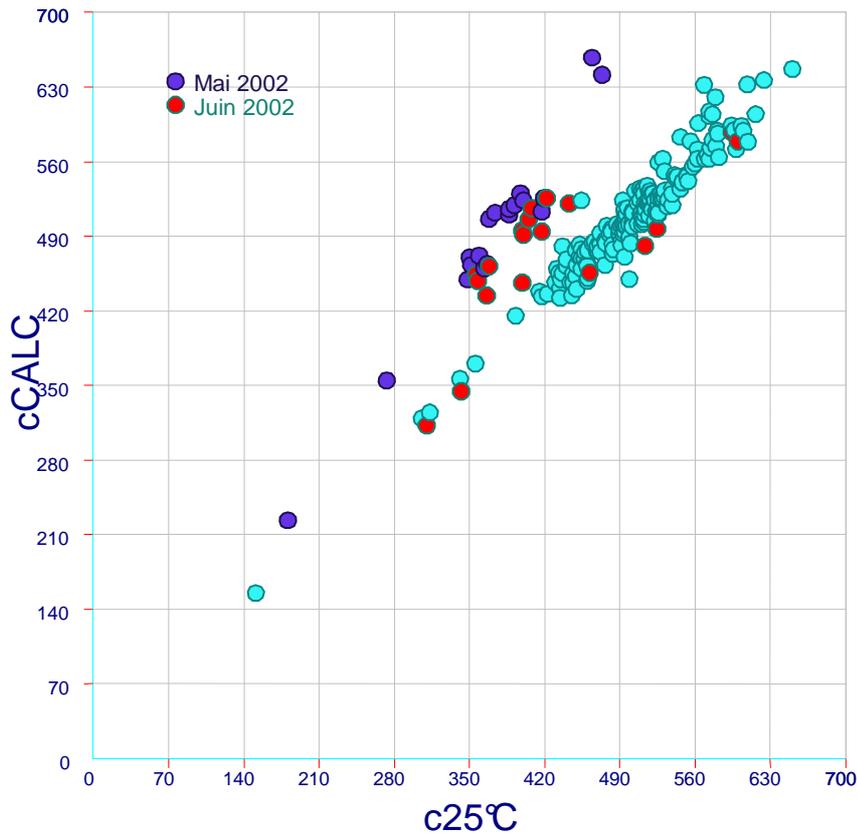


Figure 77 : Comparaison entre conductivités terrain et conductivités calculées

4.4.2.2 Le contexte hydrologique

On rappelle (voir figure) que l'année hydrologique 2002 – 2003 a été une année sèche. Elle a connu une période de hautes eaux de novembre à février seulement, sans les crues habituellement présentes au printemps.

La première tournée du suivi les 25 et 26 septembre 2002 connaît encore des basses eaux d'étiage même si un premier événement très bref s'est manifesté localement le 21-09. Les prélèvements d'octobre ont été faits autour d'une petite crue le 25 mais connaissent des débits moyens du même ordre de grandeur que ceux de mars de l'année suivante, au début du tarissement. Seules les quatre tournées de novembre, décembre, janvier et février se déroulent en hautes eaux et plus particulièrement celle des 25 et 26 novembre qui survient dans la décrue de l'événement majeur du 25-10 et celle des 21 et 22 janvier qui se fait lors de la montée, ou au maximum d'une crue. Sur des bassins versants de taille différente souvent distants et sur un intervalle de 36 heures, il est illusoire de pouvoir prélever des systèmes karstiques au même stade d'une crue.

Les dernières crues se manifestent début mars 2003 et on peut considérer que la campagne des 19 et 20 mars se situe déjà en début de tarissement qui va se prolonger jusqu'à la fin du suivi fin août et bien au delà jusqu'à la fin octobre 2003.

4.4.2.3 Caractéristiques physico-chimiques des sources du suivi

4.4.2.3.1 Représentativité des sources du suivi

Toutes les analyses du suivi hydrochimique ont été reportées sur un diagramme de Piper (cf. fig.). Elles présentent toutes un faciès bicarbonaté calcique. Elles se distinguent principalement, dans le triangle des cations par une évolution vers le pôle Mg qui traduit l'importance croissante des dolomies dans le système karstique et dans le triangle des anions par un début de migration du pôle HCO_3^- vers le pôle $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$ qui indique l'atteinte des systèmes par les éléments anthropiques.

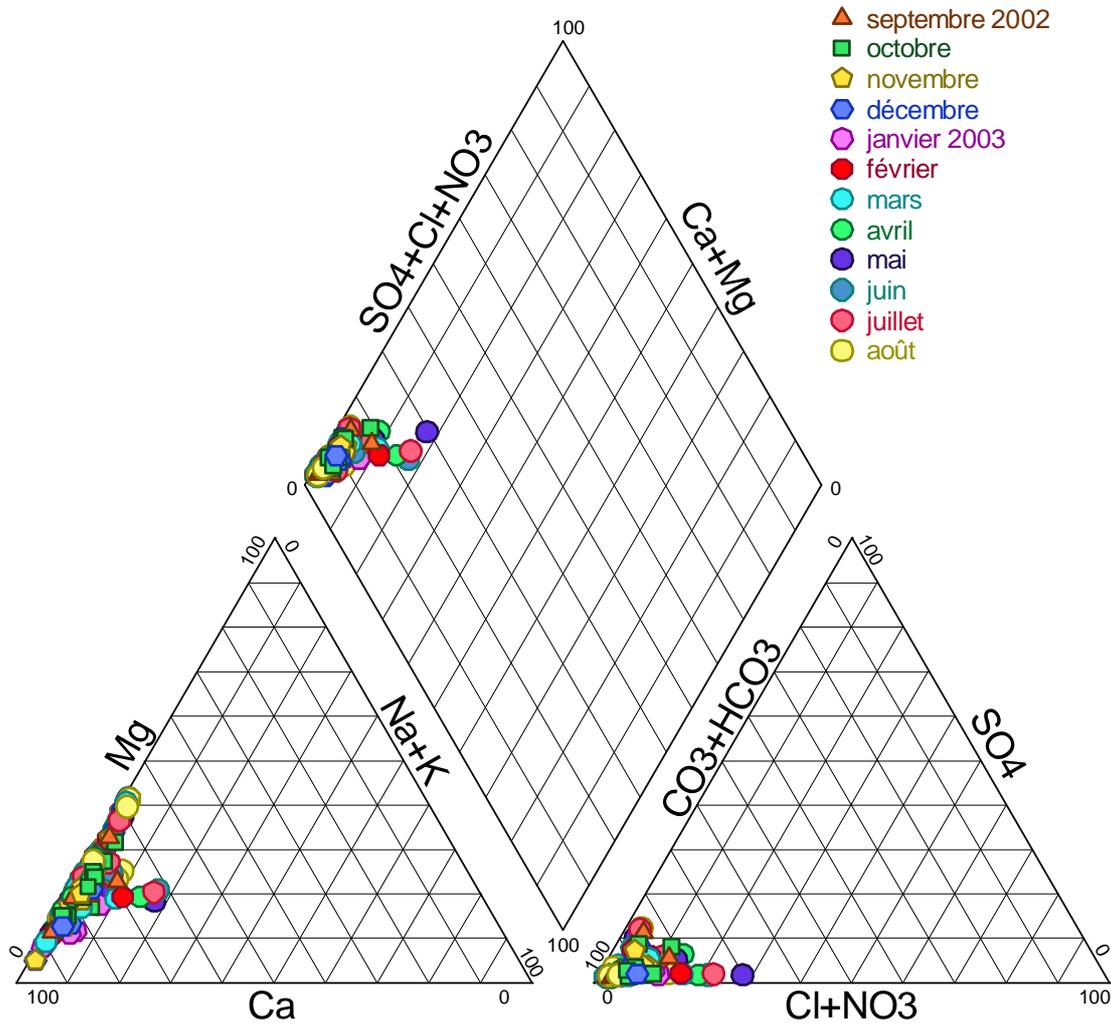


Figure 78 : Analyses du suivi mensuel

Quand l'on reporte les analyses des prélèvements de juin 2003 avec celles de la campagne générale d'étiage de la même période (cf. fig.) on constate que les sources du suivi présentent une dispersion assez proche de l'ensemble des points même si les extrêmes sur l'axe Ca-Mg ne sont pas représentés. On peut considérer que les sources du suivi sont représentatives des eaux rencontrées sur le Causse de Sauveterre surtout si l'on exclut les sources de très faible débit des formations superficielles.

4.4.2.3.2 Les paramètres physico-chimiques de terrain

4.4.2.3.2.1 La température

Certaines sources ont été prélevées à la station de jaugeage à quelque distance de leur émergence, si bien que la température mesurée lors du prélèvement est affectée de manière significative par la température extérieure quand elle s'écarte beaucoup de la température de la source et ce d'autant plus que le débit du cours d'eau est faible. C'est le cas pour Glassac dont les températures mesurées ne sont pas représentatives de l'émergence. On peut penser que les mesures de Duc, Serre, Ségala et Lestang sont momentanément affectées ce qu'indique l'écart type élevé sur la moyenne des 12 prélèvements (cf. tableau). Ce tableau où figurent moyenne, écart type, minima et maxima fournit néanmoins des indications intéressantes :

- La source de Tantayrou présente la température la plus élevée, de près de 1,8° c. supérieure à celle des sources de même altitude (650 m.) ce qui indique un circuit terminal remontant assez profond et va de pair avec la constance de la température.

	Alt.	moyenne	écart-type	minima	maxima
Verlenque	710	11,25	1,10	9,9	13,6
Bastide	710	10,34	0,73	9,8	12,0
Cayrac	715	11,22	0,88	10,0	12,5
Tantayrou	655	12,67	0,56	11,5	13,5
Ségala	685	10,51	0,97	8,9	12,4
Buzareingues	670	10,83	0,74	9,3	11,9
Mayrinhac	640	11,68	0,78	9,9	12,7
Esparses	630	11,71	0,64	10,5	13,0
Glassac	560	12,73	4,17	5,9	19,1
Lestang	650	10,80	1,03	8,8	13,2
Courtinaux	630	10,25	0,99	9,4	13,5
Duc	695	10,90	1,48	9,3	14,7
Serre	700	10,47	1,03	9,2	12,2
Roquazou	710	10,05	0,63	9,1	11,3
Beldoire	425	11,75	0,54	10,5	12,5
Rouveyrol	420	11,32	0,61	10,6	12,7
Mas de Lafon	400	11,34	0,73	10,4	12,8
moyenne sans Glassac		11,14			

Figure 79 : Tableau de valeurs caractéristiques des températures des sources

- Parmi les sources dont la température est supérieure à la moyenne, on trouve Mayrinhac et Esparses pour cette même tranche d'altitude et Beldoire cependant à une altitude plus basse au niveau du Tarn, mais qui est aussi caractérisée par sa très grande constance.

- La source de Roquaizou présente la température la plus basse et bien que son émergence soit parmi les plus hautes, cela suppose un circuit karstique descendant rapidement de zones plus hautes et probablement boisées. Elle est aussi caractérisée par une grande constance de température.

La moyenne de toutes les sources (sans Glassac) sur toute l'année hydrologique s'élève à 11,14 °c. En ce qui concerne les variations dans le temps, ce sont les mois d'avril et de mai qui connaissent généralement les plus fortes températures de l'eau (cf. fig.). Si l'on fait abstraction de février (température extérieure froide avec neige) et de juillet et août 2003 (canicule), la tendance générale voit la température des sources décroître en novembre 2002 dès la reprise des écoulements et jusqu'en février 2003, et connaître une brusque augmentation en mars avec un maximum en avril mai, pour revenir aux valeurs moyennes dès juin 2003.

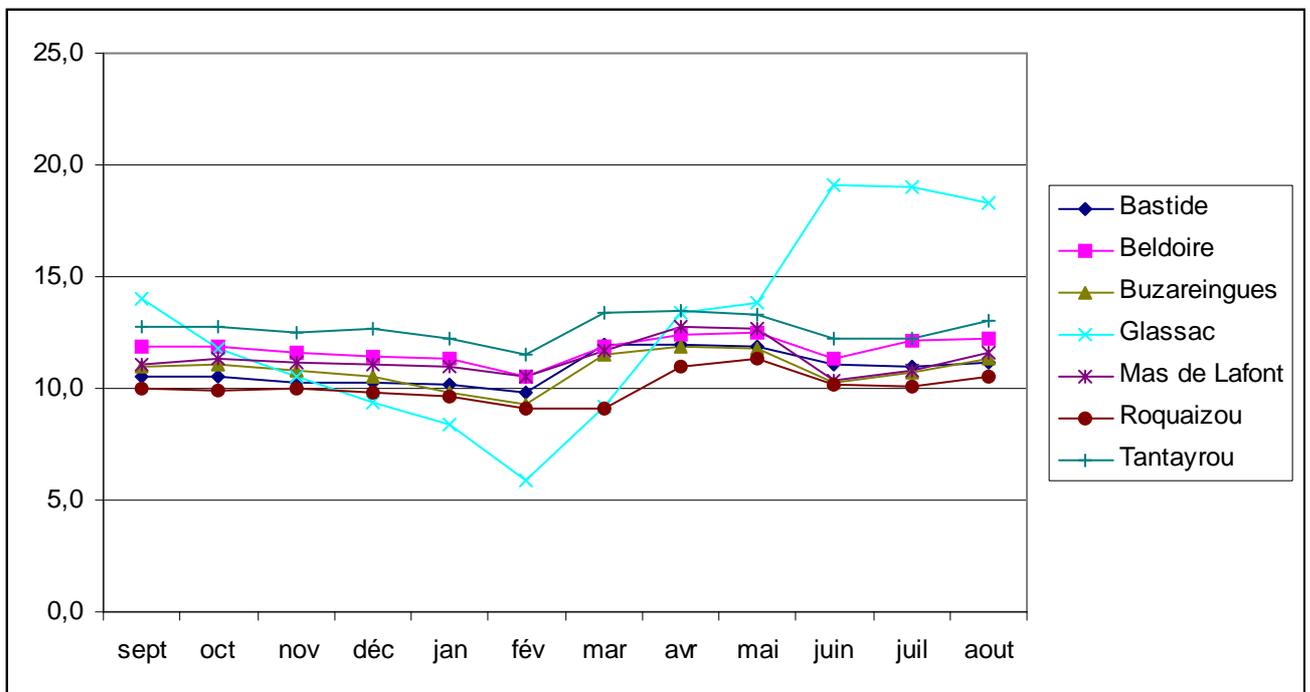


Figure 80 : Variations mensuelles des températures des sources

4.4.2.3.2.2 Le pH

Le pH n'a pas pu être mesuré en octobre 2002. Les pH moyens des sources sur 11 campagnes mensuelles sont compris entre 7,13 à Verlenque et 8,04 à Glassac (cf. tableau). Les valeurs les plus fréquentes se regroupent autour de 7,45.

Différentes classes de pH peuvent être distinguées :

- Les pH les plus élevés correspondent à des eaux ayant subi une aération et en conséquence un départ de CO₂. C'est le cas de tous les prélèvements effectués à une certaine distance de l'émergence tout particulièrement à Glassac (8,04) et de façon plus atténuée à Serre (7,82), et Duc (7,67) On trouve aussi au sein de ce groupe les émergences de Courtinaux (7,73) et de Serre (7,70) dont les conduits terminaux ouverts permettent aussi l'aération.

- Le Mas de Lafon présente aussi un pH fort (7,65) mais le plus constant, à la différence des autres déjà cités.

- Dans la grande famille des sources dont les pH moyens se regroupent autour de 7,45, on peut distinguer les sources de Lestang (7,55) et de Roquaizou (7,52) avec des pH légèrement plus élevés et assez variables ce qui pourrait traduire un début d'aération dans la partie terminale de leur circuit, suivant les conditions hydrologiques.

- Les sources de Beldoire (7,37) et d'Esparses (7,34) présentent de façon constante des pH légèrement plus faibles qui pourraient indiquer un milieu plus fermé.

- Une seule source Verlenque (7,13) présente en permanence le pH le plus faible. Des explications seront recherchées après l'examen de tous les paramètres chimiques.

Libellé	pH	ϵ	Mini	Max	C 25°	ϵ	Mini	Max
Verlenque	7,13	0,22	6,7	7,5	512	21	482	555
Bastide	7,35	0,22	6,8	7,6	475	18	444	498
Cayrac	7,47	0,18	7,1	7,7	458	18	430	492
Tantayrou	7,44	0,10	7,2	7,6	444	20	417	499
Ségala	7,70	0,22	7,4	8,1	477	25	445	523
Buzareingues	7,43	0,10	7,3	7,7	533	25	501	581
Mayrinhac	7,43	0,12	7,2	7,7	512	19	476	548
Esparses	7,34	0,11	7,1	7,5	513	31	469	582
Glassac	8,04	0,33	7,4	8,4	503	67	393	609
Lestang	7,48	0,26	6,8	7,8	505	23	465	538
Courtinaux	7,73	0,21	7,4	8,0	600	25	571	629
Duc	7,67	0,24	7,3	8,0	531	20	494	569
Serre	7,82	0,28	7,4	8,2	567	24	522	603
Roquaizou	7,52	0,25	7,0	7,8	505	14	480	526
Beldoire	7,37	0,10	7,3	7,6	519	17	493	556
Rouveyrol	7,45	0,10	7,3	7,6	542	40	491	617
Mas de Lafon	7,65	0,09	7,5	7,8	452	10	431	468

Figure 81 : Paramètres caractéristiques des sources du suivi mensuel

4.4.2.3.2.3 La conductivité électrique

Les conductivités moyennes des sources du suivi sur un cycle hydrologique sont comprises entre 444 μ S/cm pour la plus faible, Tantayrou et 600 μ S/cm pour la plus forte, Courтинаux. En fait la plupart des conductivités moyennes se regroupent autour de la valeur de 500 μ S/cm. Dans l'intervalle 500 \pm 25 μ S on trouve 10 des 17 points du suivi (cf. tableau).

La conductivité électrique est un indicateur de la minéralisation de l'eau. On verra à l'examen de la matrice des corrélations qu'elle est corrélée avec les teneurs en HCO₃⁻ et bien sûr Ca²⁺ puisque le profil chimique de l'eau est bicarbonaté calcique, mais aussi avec NO₃⁻ et Cl⁻ d'origine anthropique dont la présence même mineure fait souvent la différence au niveau des fortes valeurs.

Les sources qui se distinguent dans le domaine des fortes valeurs sont par ordre décroissant, celles de :

- Courтинаux (600) riche en bicarbonates et polluée
- Serre (567) la plus riche en bicarbonate et sensible aux éléments anthropiques
- Rouveyrol (541) atteinte d'une pollution chronique

Les sources qui se distinguent dans le domaine des faibles valeurs sont par ordre croissant celles de :

- Tantayrou (444) la moins minéralisée en bicarbonates et sensible en automne à NO₃⁻ et Cl⁻
- Mas de Lafon (452) moyennement minéralisée en bicarbonates mais exempte d'atteintes anthropiques
- Cayrac (458) peu minéralisée comme Tantayrou mais affectée de manière faible mais permanente par NO₃⁻ et Cl⁻.

En ce qui concerne les variations des conductivités sur la même source, les plus constantes sont le Mas de Lafon, Roquaizou et à un degré moindre Beldoire, alors que les variations les plus importantes s'observent à Glassac et Rouveyrol qui accusent des pollutions récurrentes et à un degré moindre à Esparses. Mais ce qui est le plus remarquable c'est que les maxima de conductivité s'observent, pour toutes les sources, en novembre 2002 lors des premières crues d'automne après un long étiage et que les minima se manifestent en juillet et août 2003 au cours de l'étiage important de 2003. L'examen des analyses chimiques nous montrera quels éléments en sont la cause.

4.4.2.3.3 Les analyses chimiques

4.4.2.3.3.1 Traitement des données par l'analyse en composantes principales

Les variables utilisées dans ce traitement sont la température, le pH, la conductivité électrique, les cations (4) et anions (4) majeurs, la silice dissoute, la pCO₂ et l'indice de saturation vis à vis de la calcite (IsCa). Les échantillons pris en compte sont les 17 sources du

suivi dont le prélèvement a été continu (cf. figure 82), mais pendant 11 campagnes seulement, c'est à dire sans le mois d'octobre pour lequel les données de pH sont absentes.

La matrice des corrélations entre les différents descripteurs (cf. tableau) indique les affinités suivantes :

- des corrélations entre conductivité terrain et bicarbonate (0,59), calcium (0,61) mais aussi nitrates (0,56), potassium (0,56) et chlorures (0,51) éléments anthropiques contribuant à la minéralisation de l'eau.

- une corrélation attendue entre bicarbonates et calcium (0,56) correspondant au faciès chimique des eaux mais aussi une corrélation inverse entre calcium et magnésium (-0,58) confirmant que le pouvoir agressif des eaux riches en CO₂ est relativement constant et s'exerce aux dépens de calcaires ou de dolomies.

- une excellente corrélation attendue entre chlorure et sodium (0,98), une corrélation entre chlorure et nitrate (0,69) avec pour conséquence une bonne relation entre sodium et nitrate (0,62) et enfin une corrélation entre nitrate et potassium (0,61) deux éléments liés aux activités agricoles.

- une corrélation significative et intéressante entre nitrate et silice dissoute (0,66) confirmant l'origine de cette dernière dans les formations superficielles.

- une excellente corrélation directe de IsCa avec le pH (0,96) puisque ce paramètre intervient dans son calcul, pour la même raison une excellente corrélation inverse de la pCO₂ avec le pH (- 0,86) et en conséquence des deux une corrélation inverse entre IsCa et pCO₂ (- 0,80).

	T°C	pH	C 25°	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₂	pCO ₂	IsCa
T°C	1,00	0,22	-0,36	-0,24	-0,02	0,03	-0,01	-0,32	-0,02	0,01	-0,14	0,07	-0,15	0,22
pH	0,22	1,00	-0,03	-0,22	0,28	0,05	0,19	0,03	0,04	0,00	-0,11	-0,21	-0,86	0,96
C 25°	-0,36	-0,03	1,00	0,61	-0,01	0,44	0,56	0,59	0,51	0,34	0,56	0,18	0,08	0,13
Ca	-0,24	-0,22	0,61	1,00	-0,58	0,08	0,30	0,56	0,16	0,19	0,37	0,12	0,25	0,03
Mg	-0,02	0,28	-0,01	-0,58	1,00	-0,03	-0,03	0,06	-0,05	0,09	-0,28	-0,24	-0,26	0,16
Na	0,03	0,05	0,44	0,08	-0,03	1,00	0,37	-0,15	0,98	0,13	0,62	0,46	-0,07	0,04
K	-0,01	0,19	0,56	0,30	-0,03	0,37	1,00	0,20	0,42	0,44	0,61	0,39	-0,12	0,26
HCO ₃	-0,32	0,03	0,59	0,56	0,06	-0,15	0,20	1,00	-0,06	0,10	0,07	-0,25	0,07	0,24
Cl	-0,02	0,04	0,51	0,16	-0,05	0,98	0,42	-0,06	1,00	0,12	0,69	0,49	-0,04	0,06
SO ₄	0,01	0,00	0,34	0,19	0,09	0,13	0,44	0,10	0,12	1,00	0,23	0,23	0,00	0,05
NO ₃	-0,14	-0,11	0,56	0,37	-0,28	0,62	0,61	0,07	0,69	0,23	1,00	0,66	0,11	-0,04
SiO ₂	0,07	-0,21	0,18	0,12	-0,24	0,46	0,39	-0,25	0,49	0,23	0,66	1,00	0,17	-0,21
pCO ₂	-0,15	-0,86	0,08	0,25	-0,26	-0,07	-0,12	0,07	-0,04	0,00	0,11	0,17	1,00	-0,80
IsCa	0,22	0,96	0,13	0,03	0,16	0,04	0,26	0,24	0,06	0,05	-0,04	-0,21	-0,80	1,00

Figure 82 : Corrélations du suivi mensuel

Si l'on compare ces résultats obtenus sur une population de 17 sources sur 11 mois avec ceux de la campagne exhaustive d'étiage sur 94 échantillons, on constate une grande analogie avec cependant quelques différences. Sur un échantillonnage réduit, répété à 11 reprises, les variations dans le temps des éléments anthropiques ont plus d'importance sur la conductivité (relations accrues). D'autres relations s'affirment entre tous ces éléments anthropiques, notamment entre chlorure et nitrate qui ont des origines moins diverses que lors de la campagne exhaustive. Les bonnes relations, directe entre nitrate et silice et inverse entre calcium et magnésium donnent du poids aux interprétations déjà faites sur l'origine des

éléments aux dépens respectivement, des formations superficielles et de l'encaissant carbonaté.

La figure suivante présente la répartition des variables dans le plan I-II. Ces axes expriment respectivement 29 % et 22 % de la variance ce qui est relativement peu élevé :

- l'axe I est caractérisé par la minéralisation de l'eau, sa conductivité électrique, les ions indicateurs d'impact anthropique, NO_3 , Cl, Na et K accompagnés de SiO_2 , les ions Ca et HCO_3 marqueurs du milieu carbonaté et l'anion SO_4 en position intermédiaire.

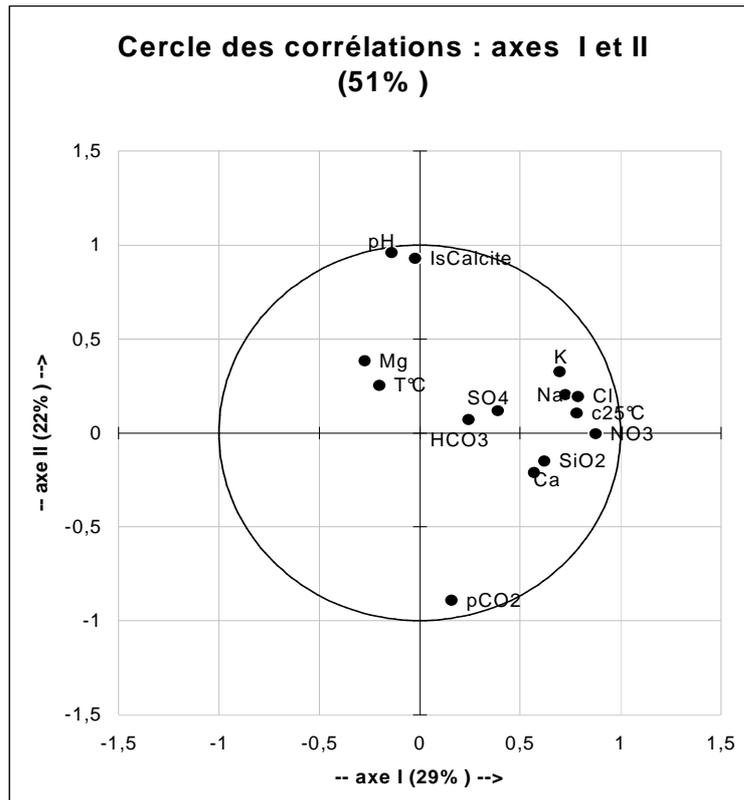


Figure 83 : Répartition des variables dans le plan I - II

- l'axe II oppose classiquement le pH et l'IsCa à la pCO_2 et caractérise les équilibres carbonatés. L'aération de l'eau entraîne le départ de CO_2 et donc l'augmentation du pH et la saturation de l'eau vis à vis de la calcite pouvant aller jusqu'à la précipitation de Ca CO_3 favorisant ainsi une augmentation de Mg (dédolomitisation).

- l'axe III n'exprime que 16 % de la variance et la projection des variables sur les axes I - III n'apporte pas d'indications supplémentaires.

- dans les plans I - II, les échantillons d'eau ont été distingués et regroupés par source (cf. fig.). La minéralisation est croissante de la gauche vers la droite sur l'axe I, tandis que l'aération et l'ouverture du milieu augmentent de bas en haut sur l'axe II. Dans ce diagramme, on remarque :

Données sur les axes I et II (51%)

Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants Caussees

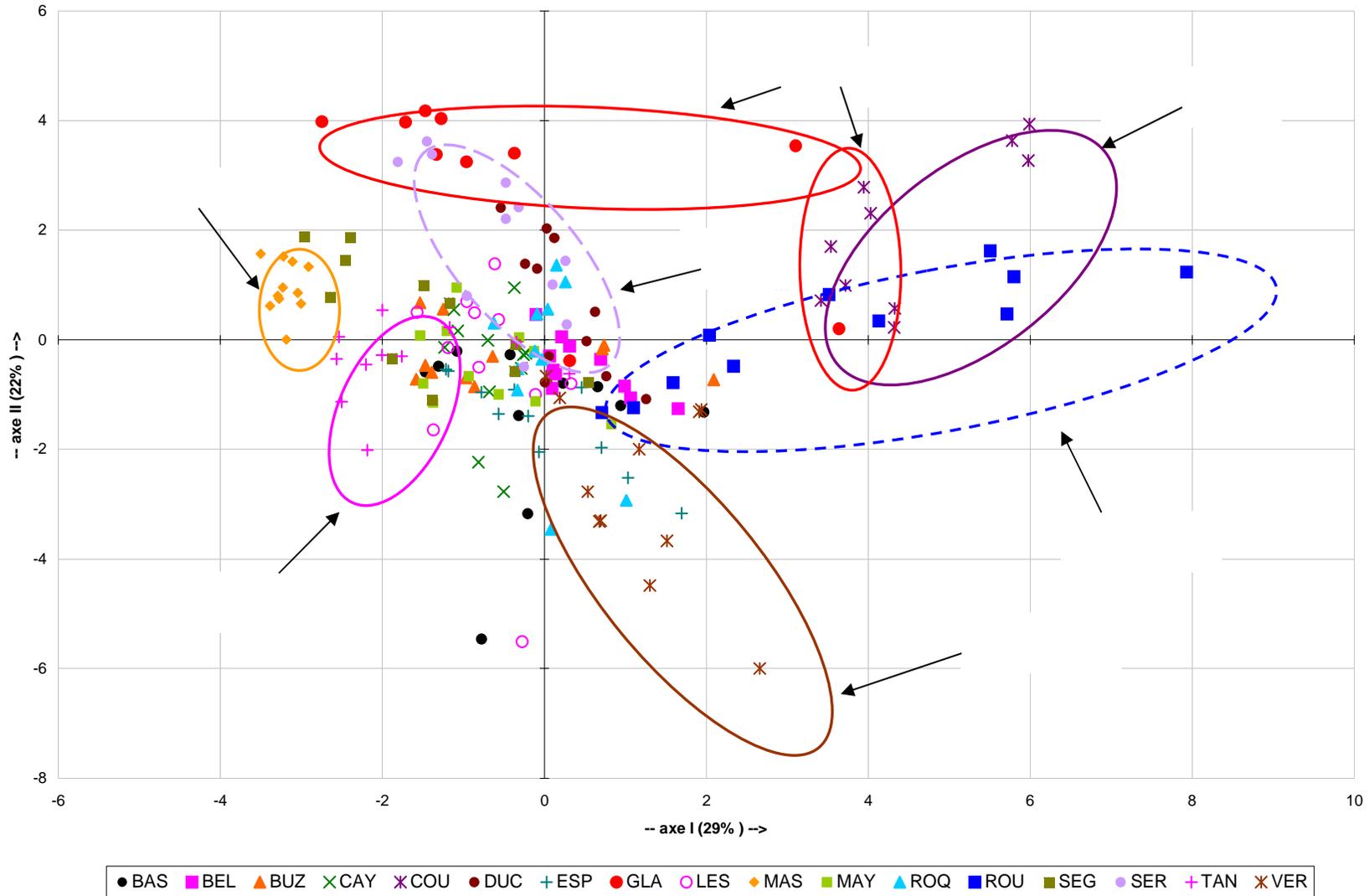


Figure 84 : Répartition des échantillons par origine dans le plan I - II

- à gauche et à proximité de l'axe I le très bon regroupement des sources du Mas de Lafon et de Tantayrou caractérisant les minéralisations faibles et très constantes et un milieu à l'équilibre.

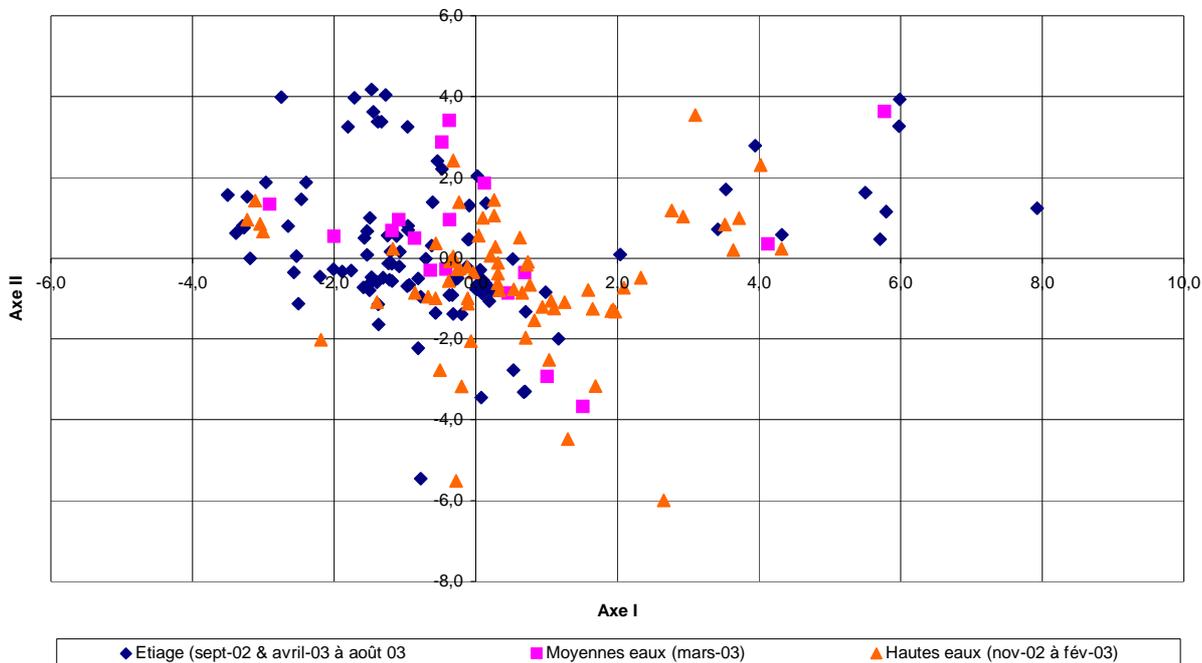
- que sur la droite de l'axe I se regroupent les échantillons de Courтинаux à forte minéralisation résultant de la présence permanente des éléments anthropiques et évoluant entre milieu équilibré et dégazé.

- que dans la partie centrale on trouve des sources à minéralisation moyenne (peu polluées) et faiblement variables. Elles évoluent, pour les sources de Serre et du Duc entre un milieu à l'équilibre et un milieu dégazé alors que la source de Verlenque évolue d'un milieu à l'équilibre vers un milieu fermé à pH bas, riche en CO₂.

- que deux sources accusent une très grande dérive horizontale traduisant une minéralisation très variable par suite de pollutions accidentelles, celle de Rouveyrol, proche de l'axe I, dans un système à l'équilibre et celle de Glassac dans la partie haute du diagramme dans un domaine très ouvert et dégazé (conséquence des conditions de prélèvement).

Dans les plans I – II les échantillons d'eau ont aussi été distingués en fonction de la période de prélèvement (cf. fig.). On observe, à l'exception des sources très constantes et exemptes d'atteintes anthropiques, que les mois qui enregistrent les augmentations de minéralisation sont les mois de hautes eaux, tout particulièrement novembre et janvier quand les prélèvements se sont effectués en crue. Les prélèvements d'étiage se situent en majorité vers les minéralisations faibles indiquant des arrivées anthropiques diminuées mais dans un

ACP (axe I - axe II) classé par périodes hydrologiques



domaine davantage aéré sans doute favorisé par les faibles débits et les températures de saison chaude.

Figure 85 : Répartition des échantillons par période hydrologique dans le plan I - II

4.4.2.3.3.2 Description chimique des différentes sources

Les analyses des sources d'ordre I et II du mois de juin ont été reportées sur un diagramme de Piper (cf. fig.).

Dans le triangle des cations se différencie sur le côté Ca – Mg, la source d'Esparse vers le pôle calcium (milieu calcaire) et les sources de Serre et de Mas de Lafont vers le pôle magnésium (milieu dolomitique où Ca = Mg = 50). La source de Rouveyrol a une position à l'écart de cette évolution par suite de sa teneur élevée en sodium.

Dans le triangle des anions, trois sources s'écartent du regroupement sur le pôle bicarbonate :

- Rouveyrol à cause de sa teneur en chlorure et nitrate
- Beldoire qui montre une teneur plus élevée en sulfate
- Courlinaux, en position intermédiaire, atteinte de pollution qui fait croître ses teneurs en chlorure, nitrate et sulfate par rapport à l'ensemble des sources.

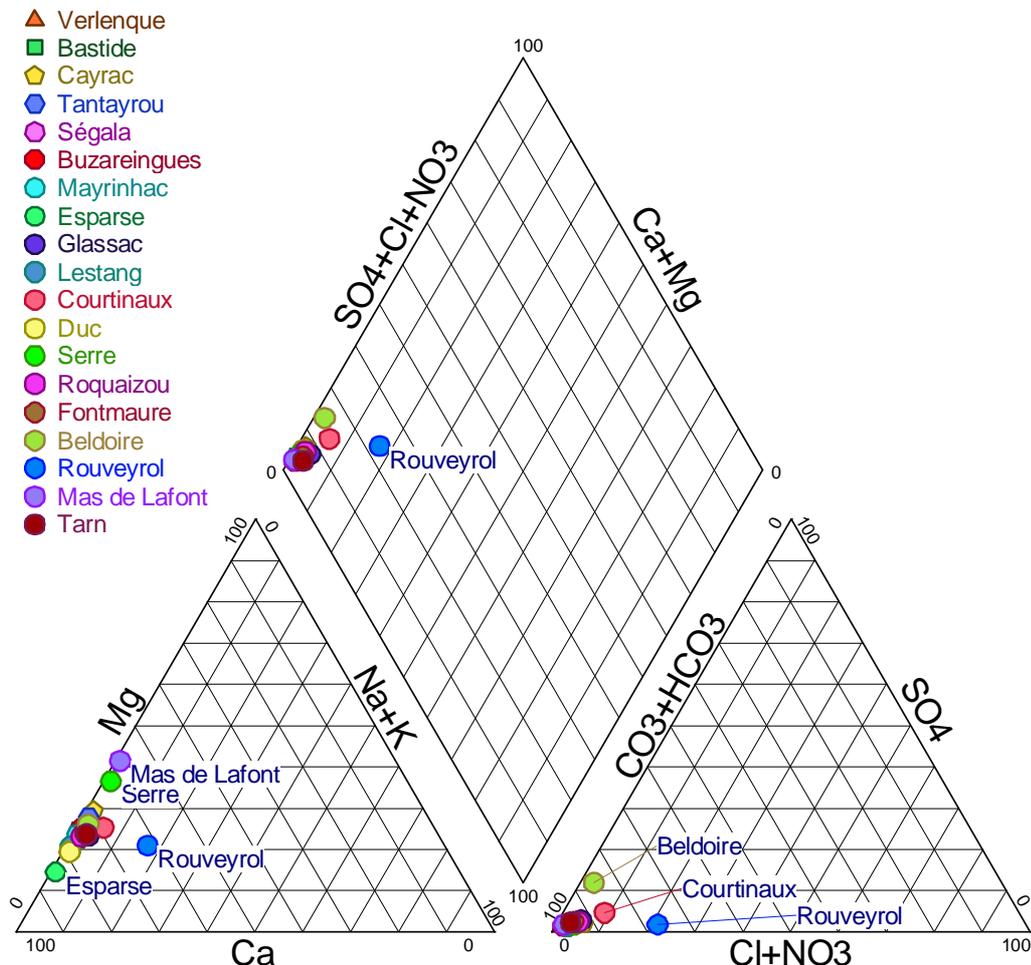


Figure 86 : Sources du suivi en juin 2003

En ce qui concerne les valeurs absolues des concentrations, la teneur moyenne en bicarbonate des 17 sources échantillonnées tous les mois s'élève à 308 mg/l soit un peu moins que la moyenne de la campagne d'étiage (317 mg/l sur 94 échantillons). Les teneurs moyennes de tous les autres éléments (cf. tableau) sont comparées à celles de l'échantillonnage exhaustif d'étiage. Les écarts importants entre minima et maxima indiquent une grande diversité dans l'espace et dans le temps. Le choix des sources du suivi mensuel est représentatif de l'ensemble des points d'eau de la région étudiée.

	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SiO ₂	pCO ₂	IsCa
Moyenne du suivi	313	6,1	8,2	7,2	87,4	16,3	2,9	1,2	8,8	0,9	0,31
Minimum	248	2	1,9	3	61	3,6	1,1	0,2	3,5	0,1	-0,51
Maximum	410	52	25,8	32,7	116	27,9	28,3	7,2	14,5	4,3	1,19
Moyenne Campagne étiage	317	8,6	10,1	13,3	76,8	17,8	4,7	1,7	7,7		

Figure 87 : Concentrations moyennes et extrêmes du suivi mensuel

4.4.2.4 Indications des analyses sur les systèmes karstiques

Les indications sur l'origine des éléments chimiques fournies par l'interprétation des résultats de la campagne exhaustive d'étiage vont être utilisées pour examiner les résultats du suivi mensuel. Mais à cette transposition s'ajoutent les indications fournies par les variations dans le temps des différents éléments.

4.4.2.4.1 Indications des marqueurs géologiques

Les bicarbonates

Les teneurs moyennes des sources du suivi vont de 273 mg/l à 355 mg/l. Parmi les moins minéralisées on trouve celles de la bordure Ouest du Causse de Massegros, Bastide, Verlenque et Cayrac, celle de Rouveyrol à l'Est et les sources de Tantayrou et du Mas de Lafon. Parmi les valeurs fortes on trouve celles de la bordure Nord du Causse de Sauveterre, la source de Serre la plus minéralisée, celle de Duc et de Lestang mais aussi les sources de Buzareingues et Courtinaux. (cf. Tableau)

Les sources qui ont les teneurs en HCO₃⁻ les plus constantes au cours du cycle hydrologique sont celles du Mas de Lafon, de Verlenque, Bastide et Tantayrou. La plus variable est celle de Glassac en partie parce qu'elle est prélevée en aval de son émergence et fortement dégazée.

Le calcium et le magnésium

Les teneurs moyennes en calcium vont de 64 mg/l pour la source de Tantayrou jusqu'à 103 mg/l pour celle d'Esparse. Comme l'indique la corrélation inverse trouvée entre le calcium et le magnésium, les teneurs de ce dernier suivent un ordre inverse, la plus faible à Esparse avec 7,5 mg/l et la plus forte au Mas de Lafon avec 26,6 mg/l. Ce qui fournit le plus d'indications sur la nature du réservoir est le rapport Ca/Mg bien étalonné dans le chapitre III.1.2.

La source d'Esparse avec un rapport de 9,6 présente le faciès d'une eau issue d'un milieu essentiellement calcaire tandis que celles du Mas de Lafon et de Serre avec des rapports entre 1 et 2 sont issues d'un milieu essentiellement dolomitique.

Libellé	Ca	ϵ	Mg	ϵ	Na	ϵ	K	ϵ	HCO ₃	ϵ	Cl	ϵ	SO ₄	ϵ	NO ₃	ϵ	SiO ₂	ϵ	Ca /Mg
Verlenque	91,1	5,9	13,1	2,6	2,7	1,3	0,9	0,2	303	16	6,3	2,1	6,3	1,0	12,4	2,1	12,0	1,3	4,5
Bastide	86,2	4,9	13,4	2,8	2,1	1,4	0,7	0,6	292	22	4,8	2,4	4,7	0,8	9,8	4,4	11,6	1,3	4,1
Cayrac	76,5	4,0	17,5	1,6	1,7	0,2	0,7	0,1	283	24	4,6	0,4	4,4	0,3	10,5	0,6	12,1	0,9	2,7
Tantayrou	75,1	2,7	17,7	0,6	1,5	0,2	1,3	1,2	281	17	2,9	0,6	4,7	1,8	4,8	2,1	9,3	0,8	2,6
Ségala	87,1	10,7	11,7	1,7	1,4	0,2	0,5	0,3	305	20	3,6	1,5	3,8	0,8	7,0	6,7	5,3	0,5	4,7
Buzareingues	91,9	4,4	19,0	0,9	1,7	0,3	1,7	1,6	340	19	3,7	1,1	5,8	1,9	4,0	3,0	6,3	1,6	2,9
Mayrinhac	90,6	5,2	16,4	0,7	1,4	0,1	0,7	0,4	320	23	3,7	0,6	4,3	0,4	6,3	2,1	6,7	0,4	3,4
Esparse	103,6	9,1	7,5	2,1	1,4	0,0	0,6	0,2	327	27	3,6	0,6	3,9	0,5	5,8	1,6	7,5	0,4	9,6
Glassac	83,9	10,5	16,3	1,7	3,3	0,7	2,8	1,4	312	48	6,5	1,3	8,8	2,7	8,4	4,3	9,0	2,3	3,1
Lestang	92,4	4,6	13,9	2,0	1,4	0,1	0,6	0,2	327	24	3,7	0,6	3,8	0,3	6,8	3,2	6,4	0,6	4,1
Courtinaux	101,1	6,6	17,0	2,5	6,6	2,6	4,8	1,2	336	19	13,6	3,8	17,3	4,0	17,9	3,5	12,2	0,7	3,7
Duc	98,2	3,9	14,2	1,4	1,7	0,1	1,1	0,4	327	14	5,0	0,6	5,8	0,8	8,9	2,0	8,5	0,8	4,2
Serre	81,4	9,2	26,3	1,1	2,5	0,6	0,6	0,4	356	17	6,6	1,6	5,8	0,9	6,2	0,7	6,3	0,6	1,9
Roquaizou	87,3	6,4	15,5	0,7	2,9	0,5	0,5	0,1	314	30	6,6	1,2	6,8	0,6	5,7	0,6	11,5	0,7	3,4
Beldoire	88,9	5,3	17,0	1,3	2,5	0,3	1,0	0,2	308	27	4,1	0,7	26,0	4,2	6,3	1,5	9,2	0,4	3,2
Rouveyrol	86,9	6,1	13,7	2,7	13,3	8,8	1,4	0,3	295	22	21,9	13,5	5,2	0,4	16,2	2,8	12,7	1,6	4,1
Mas de Lafon	63,8	2,3	26,6	0,7	1,2	0,0	0,2	0,0	296	17	2,5	0,2	4,8	1,0	2,5	0,5	3,7	0,2	1,5

Figure 88 : Tableau des teneurs moyennes des sources du suivi

Les autres sources dont le rapport Ca/Mg est compris entre 2,6 et 4,7 peuvent être décrites comme présentant un partage entre calcaires et dolomies dans leur bassin versant. Plus précisément on remarque un groupement homogène de sources dont les rapports compris entre 4,1 et 4,7 traduisent une prédominance des faciès calcaires. Ce sont des sources issues du Causse de Massegras, Bastide, Verlenque et Rouveyrol et des sources de la bordure du Causse de Sauveterre dans sa partie centrale, Ségala, Duc et Lestang. Au contraire les sources de Tantayrou, Cayrac et Buzareingues dont les rapports Ca/Mg sont compris entre 2,6 et 3 sont issues d'un milieu où les dolomies sont bien représentées.

Les sources sujettes à de grandes variations du calcium sont celles qui montrent un dégazage important qu'on peut imputer en grande partie aux conditions de prélèvement en aval du véritable exutoire, Glassac, Serre, Ségala mais ce ne semble pas être le cas à Esparse.

Les sources qui sont les plus constantes sont celles qui présentent les plus fortes teneurs en magnésium et un rapport Ca/Mg caractéristique d'un milieu dolomitique. Les raisons sont alors d'ordre hydrologique avec des conditions d'infiltration et d'écoulement spécifiques.

Les sulfates

Les sulfates ne peuvent être corrélés à aucun autre élément et leur signification est ambiguë, tantôt accompagnant une forte pollution, tantôt résultant de la circulation de l'eau sur les marnes pyriteuses du Toarcien.

La seule source qui présente une teneur relativement forte en sulfate est celle de Beldoire (26 mg/l) valeur confirmée par celle de la source adjacente du Pas de Soucy (23,4 mg/l). Cette source est peu polluée et il faut y voir une circulation au contact du Lias marneux et le rôle de la faille des Vignes. La source de Courtinaux a également une teneur en sulfate remarquable mais qui peut être attribuée à la pollution.

La source d'Esparse issue d'un milieu calcaire présente la plus basse teneur en sulfate.

La silice dissoute

La silice dissoute est corrélée avec les nitrates et plus faiblement avec les chlorures et le sodium ce qui oriente vers une provenance depuis les formations superficielles.

On trouve parmi les sources du suivi une forte proportion de sources définies comme riches en silice avec une teneur proche ou supérieure à 12 mg/l lors de la campagne d'étiage. Celles de Verlenque, Bastide, Cayrac s'expliquent par une connexion avec un amont cristallin, épandages allochtones et pertes et celle de Rouveyrol indique une liaison avec l'environnement des trois précédentes déjà validée par un traçage artificiel. La teneur élevée de Roquaizou est à rapprocher de la présence des argiles à chailles sur son bassin versant, celle de Courtinaux à la présence des résidus d'altération des calcaires liasiques.

La source du Mas de Lafon se distingue par sa teneur très faible en silice. La présence de grésou dolomitique sur la quasi totalité de son impluvium pourrait expliquer cette pauvreté.. On remarquera que les sources à faciès dolomitique (rapport Ca/Mg faible) présentent des teneurs en silice parmi les plus basses.

En ce qui concerne les variations des teneurs, les sources les plus constantes sont le Mas de Lafon, Esparse et Beldoire alors que les plus variables sont Glassac, Buzareingues, Rouveyrol et Bastide (cf. fig.). On observe pendant les mois de hautes eaux de novembre à février, des valeurs basses des teneurs en silice à Verlenque, Bastide, Cayrac, Rouveyrol, Serre et Roquaizou alors que les sources de Glassac, Buzareingues et Tantayrou accusent les valeurs les plus fortes.

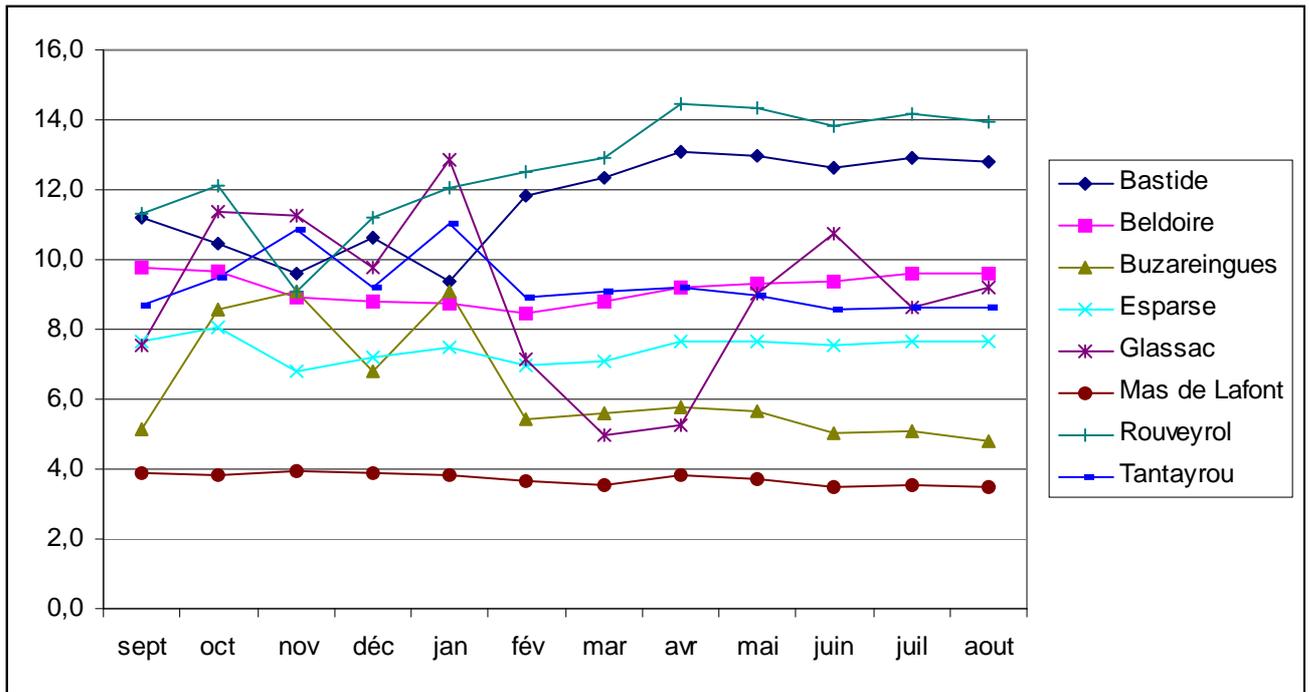


Figure 89 : Variations mensuelles des teneurs en silice

4.4.2.4.2 Les marqueurs anthropiques

(Cf. chapitre 'Incidence des activités humaines et mesures de protection')

4.4.2.5 Connaissances et hypothèses sur les systèmes

En conclusion, toutes les indications fournies par la physico-chimie des sources sont rassemblées et discutées pour chaque grand système hydrogéologique. Ces indications concernent la nature du réservoir, l'état qualitatif du système et son fonctionnement.

4.4.2.5.1 Le Causse de Massegros

Les sources de Verlenque, Bastide, Cayrac et Rouveyrol appartiennent à ce grand système karstique qui se développe dans le Dogger, les calcaires lithographiques du Bathonien et les dolomies brunes du Bajocien. Leurs caractères communs sont des teneurs en bicarbonates qui restent un peu inférieures à 300 mg/l, un rapport calcium – magnésium autour de 3, caractéristique d'un milieu partagé entre calcaire et dolomie et leur pauvreté en sulfates. Le rapport Ca / Mg varie de 3,6 pour la source Verlenque à 2,4 pour la source Cayrac en fonction de l'augmentation des surfaces et / ou des volumes de dolomie drainés. Leur caractère distinctif est leur concentration élevée en silice (12 mg/l) due à une connexion avec des épandages allochtones et des écoulements en provenance des terrains permio – triasiques du Sud et peut être aussi au recouvrement par les argiles à chailles au Nord. Le marquage naturel par la silice de la source de Rouveyrol confirme ainsi le traçage artificiel positif depuis les pertes du Souci et de Sâgnes. La source du Villaret, pourtant proche, dans la vallée du Tarn, pauvre en silice et avec un rapport Ca / Mg inférieur à 2 n'appartient pas à ce système.

Les écoulements en provenance des terrains permio – triasiques expliquent aussi le pH particulièrement bas de la source Verlenque, et de Bastide à un degré moindre, et leur sous saturation spécifique vis à vis de la calcite.

Les sources de Verlenque, Bastide et Cayrac sont touchées de façon significative par les éléments anthropiques. Elles diffèrent cependant dans leur comportement car les sources de Verlenque et Bastide accusent des pics de chlorures et de nitrates pendant les hautes eaux d'automne et de janvier alors que celle de Cayrac est caractérisée par sa constance peut être à attribuer à son bassin plus dolomitique. La source de Rouveyrol est très polluée par les chlorures surtout et les nitrates, comme la source voisine du Parisien. Les variations de ces éléments au cours du cycle hydrologique 2002-2003 indiquent une dilution d'un flux polluant permanent entrant dans le système (station d'épuration de Massegras) par les eaux d'infiltration du karst.

4.4.2.5.2 Le Causse de Sauveterre

Partie centrale et Nord-Ouest

Le Causse de Sauveterre est une gouttière synclinale allongée E-SE / W-NW entre la faille des Vignes et la vallée de la Serre. Les calcaires lithographiques du Bathonien et les dolomies brunes du Bajocien reposent sur les marnes du Toarcien dont le pendage est orienté vers l'intérieur. Cette épaisse formation de dolomies et calcaires du Dogger est surmontée par les dolomies et calcaires du Malm qui affleurent dans toute la moitié orientale du Causse jusqu'à la vallée du Tarn. On trouve sur la bordure Nord du synclinorium les émergences karstiques de Roquaizou, Serre, Duc et Lestang qui sont des sources de déversement du karst sur les marnes du Lias. Le contexte est le même pour la source du Ségala sur le rebord Sud mais diffère pour les sources de Mayrinhac et Esparse puisque la faille des Vignes met en contact les calcaires du Bathonien avec les calcaires et dolomies du Lias du compartiment Sud remonté.

Ce contexte d'émergence est perceptible au niveau :

- de la température des sources puisque celle de Mayrinhac et Esparse ont des températures supérieures à la moyenne résultant d'un circuit remontant alors que celle de Roquaizou a une température plus basse traduisant une liaison rapide avec un bassin versant d'altitude.
- du pH et de l'aération des sources (dégazage) avec des pH plus élevés et variables pour Ségala et Roquaizou, Duc et Serre (conditions de prélèvement ?), sursaturées en déséquilibre et présentant une grande variabilité et avec des pH moins élevés autour de 7,4, une forte pCO₂, et une grande constance pour les sources de Mayrinhac et Esparse et à un degré moindre Lestang, proches de l'équilibre.

Ces sources drainent une portion plus ou moins grande de la bordure du plateau et présente des rapports Ca/Mg allant du faciès calcaire pur comme à Esparse qui draine essentiellement les calcaires lithographiques du Bathonien jusqu'au faciès dolomitique à Serre qui draine les dolomies brunes du Bajocien. Pour les autres il y a partage (Ca/Mg voisin de 4) entre calcaire et dolomie avec une plus grande importance de la dolomie à Roquaizou. Le faciès dolomitique entraîne une teneur plus élevée en bicarbonates (350 mg/l) et une très grande constance de la minéralisation. Toutes ces sources n'ont pas de marqueur spécifique.

La teneur élevée en silice de Roquaizou est attribuée aux formations superficielles d'argile à chailles qui recouvrent son bassin versant.

Le Causse de Sauveterre est couvert de forêts et pelouse et toutes ces émergences ne présentent pas de teneurs élevées en éléments anthropiques. En ce qui concerne les chlorures, les sources de Roquaizou et de Serre se situent très légèrement au-dessus des teneurs naturelles (routes et autoroute ?). Pour les nitrates, seule la source de Duc présente une teneur un peu supérieure aux valeurs naturelles (agriculture ?). Celles de Ségala et Lestang avec des teneurs en limite des valeurs naturelles enregistrent des pics de hautes eaux attestant de leur vulnérabilité aux eaux de ruissellement.

Partie Est et sources de la vallée du Tarn

Compte tenu de la structure et de la différence d'altitude des exutoires au niveau du Tarn, le bassin versant du Tarn bénéficie d'une dynamique karstique bien plus importante que celui de l'Aveyron. Ainsi les traçages artificiels ont montré que les sources de Beldoire, Pas de Soucy et Fontmaure drainent le Causse de Sauveterre au delà de l'autoroute A 75. Leur bassin versant est contigu à ceux de Ségala, Serre et Roquaizou.

Les sources de Beldoire et du Pas de Soucy sont identiques pour tous leurs paramètres pendant les 7 mois de surveillance commune. Cette identité a entraîné l'arrêt du contrôle du Pas de Soucy au profit du Tarn, pour préciser les relations de la rivière avec la source Fontmaure. Cette source présente en effet une baisse importante de sa minéralisation lors des prélèvements de septembre – octobre 2002 et de mai – juin 2003. Pendant ces 4 mois le débit de la source est nul et il est probable que l'eau accessible de la vasque est alors diluée par l'eau de la nappe alluviale de la rivière Tarn comme l'indique la chimie. Les comparaisons entre Beldoire et Fontmaure sont donc faites pendant les 6 mois communs d'écoulement, de novembre à avril.

La source de Beldoire a une température plus forte que la moyenne et très constante, un pH de 7,4 très constant et une pCO₂ assez forte de 1,1 % qui impliquent un milieu fermé et un état d'équilibre proche de la saturation vis à vis de la calcite. Ces caractéristiques indiquent un circuit assez profond et sont comparables à celles rencontrées à Mayrinhac sur le rebord Sud du Causse de Sauveterre. La source de Beldoire se différencie en cela de Fontmaure plus froide de 0,8°C et avec un pH de 7,5 indiquant un circuit moins profond, probablement descendant.

Les compositions chimiques de ces 2 sources sont très proches pour tous les éléments à l'exception des sulfates dont les teneurs sont relativement fortes à Beldoire qui se distingue en cela des autres sources du Causse de Sauveterre. En l'absence de pollution, il faut envisager que ces sulfates sont acquis au contact des marnes pyriteuses du Lias par une circulation profonde le long de la faille des Vignes. Le rapport Ca/Mg de ces 2 sources voisin de 3,5 indique un partage entre calcaires et dolomies dans le bassin versant dans les mêmes proportions qu'à Mayrinhac et Roquaizou mais il s'agit ici des dolomies massives du Kimméridgien. Les teneurs assez élevées en silice sont tirées des formations d'argiles sableuses versicolores qui remplissent les dolines du karst et aussi des dolines qui sont d'anciens maars comme le *Sotch de Soulages*.

Les teneurs en chlorure en deçà du seuil naturel des précipitations et très constantes n'indiquent pas d'apports anthropiques. Les concentrations en nitrates (7,0 mg/l) sont à peine supérieures à celles de terrains vierges et accusent sur les 2 sources des petites hausses en novembre et décembre, un peu plus accentuées à Fontmaure qui est plus riche sur les 6 mois de suivi en commun.

4.4.2.5.3 Le rebord Nord de l'Avant Causse

Des sources karstiques importantes sourdent au fond des reculées développées au contact entre les calcaires et dolomies du Lias et les formations permotriasiques. Ce sont les sources de Courtinaux et de Glassac du suivi mensuel, celles par exemple des Bouissetes et de Fontfrège des deux campagnes. Le karst se développe dans les calcaires et les dolomies de l'Hettangien – Sinémurien. Plusieurs pertes se localisent au pied des versants marneux toarcien de la vallée de la Serre au Sud qui jouent le rôle d'amont imperméable.

Les exutoires pénétrables constituent un milieu ouvert et les sources à pH élevé accusent un dégazage et sont sursaturées. Les teneurs en bicarbonates, quand elles ne sont pas affectées par la précipitation de Ca CO_3 avoisinent 340 mg/l, tandis que les rapports calcium-magnésium compris entre 2,5 et 4,1 traduisent un partage entre calcaires et dolomies. Leur caractère distinctif est leur teneur élevée en potassium au contact probable des formations triasiques. Ces sources sont très vulnérables. Celle de Courtinaux est polluée et celle de Glassac de qualité passable et elles présentent une grande variabilité. Les teneurs en sulfates des sources de ce type peuvent parfois être assez élevées et il est difficile de faire la part d'un apport anthropique ou d'une acquisition géologique qui peut se faire au contact des argilites du Trias ou des marnes du Toarcien par l'intermédiaire des pertes amont.

4.4.2.5.4 Les sources du Lias de Séverac le Château

Deux sources proches, Tantayrou et Buzarengues émergent sur le flanc Nord de l'anticlinal liasique de Séverac le Château à proximité de la faille des Vignes. Leur bassin d'alimentation est supposé se développer dans les dolomies de l'Hettangien qui constituent la voûte anticlinale.

Bien que présentant toutes deux un faciès partagé entre calcaire et dolomie avec un rapport Ca/Mg compris entre 2,6 et 3 traduisant une prédominance des dolomies, elles diffèrent fortement par leur température et leur minéralisation en bicarbonates. Alors que Buzarengues a une température en adéquation avec la température moyenne de l'air, celle de Tantayrou est plus chaude de 1,5°C ce qui suppose une remontée d'au moins 50 m. Alors que Buzarengues a une teneur en bicarbonates élevée de 340 mg/l, identique à celles du Lias du rebord Nord de l'Avant-Causse, celle de Tantayrou a une teneur de 281 mg/l seulement, la plus faible des sources du suivi. Elle ressemble beaucoup en cela à la source de Cayrac présentant la même minéralisation principale (HCO_3 , Ca et Mg du tableau joint) mais issue du Dogger. Ainsi donc, si Buzarengues est bien alimentée par les dolomies de l'Hettangien qui affleurent vers l'ouest, la source de Tantayrou en situation captive pourrait être alimentée par des remontées depuis le Dogger affaissé dont les affleurements se situent à l'Est et au Nord sur la bordure du Causse de Sauveterre. Il est important de voir comment les failles du réseau des Vignes présentes au Sud et au Nord du site pourraient engendrer une telle situation.

Ces deux sources sont exemptes de pollution anthropique par les chlorures et nitrates et présentent des teneurs en deçà du seuil des teneurs naturelles. Toutefois la source de Buzarengues enregistre une hausse sensible en octobre et novembre, des chlorures et des nitrates et en hautes eaux, d'octobre à janvier, de fortes valeurs relatives en potassium qui est le marqueur du Lias. Ces petits pics sont aussi observés à Tantayrou ce qui fait penser à un mélange des eaux remontant par faille depuis le Dogger avec des eaux du Lias en surface.

4.4.2.5.5 Le système dolomitique du Mas de Lafon

La source du Mas de Lafon est exceptionnelle pour sa constance et son absence d'atteintes anthropiques.

Elle a un faciès dolomitique fort avec un rapport Ca/Mg de 1,46 en conformité avec son bassin d'alimentation qui se développe dans les dolomies ruiniformes du Bathonien supérieur surmontées des dolomies cristallines du Callovo-Oxfordien. Elle est parmi les sources les moins minéralisées avec une teneur en bicarbonates de 290 mg/l, des faibles teneurs en sulfate, chlorure, nitrate et même en silice. Sa teneur en nitrate de 2,5 mg/l fait penser à un bassin d'alimentation sans véritable sol, hypothèse qui va de pair avec une $p\text{CO}_2$ assez faible de 0,6 % et un pH des plus constant de 7,65.

Cette source a plutôt un comportement chimique d'aquifère perméable en petit qui pourrait s'expliquer par un soutirage du « grésou », ces dépôts sablonneux provenant de la corrosion des dolomies.

Les sources de la Muse 1, la Muse 1 amont et du restaurant du Mas de Lafon, échantillonnées lors des campagnes, présentent les mêmes caractéristiques.

4.5 L'apport de la géomorphologie

4.5.1 Introduction

Les Grands Causses cumulent une longue tradition de recherches géologiques d'où plusieurs scénarios d'évolution géomorphologique ont été proposés. Ce sont incontestablement les travaux de Paul Ambert qui ont fixé les premiers jalons de cette évolution, basés sur un important travail de terrain et en insérant le système morpho-karstique des Grands Causses dans le contexte géologique régional. Sur ses traces, des travaux récents (Bruxelles, 2001) ont permis de préciser cette évolution et de caler d'autres grandes étapes de cette histoire. Ainsi, la réalisation d'une thèse sur le Causse du Larzac, et plus de dix ans de recherche continue nous ont permis d'aborder cette étude avec une bonne connaissance du contexte géologique et géomorphologique.

Notre démarche s'est toujours appuyée sur un important travail de terrain. Ainsi, près de 50 jours de terrain nous ont permis de parcourir, en grande partie à pied, l'ensemble du secteur étudié. Il en ressort une cartographie de détail des formes karstiques et des formations superficielles.

Cette méthode met en exergue la diversité des formes karstiques et la complexité des formations superficielles réunies sous le terme indigent de « terre des causses » sur les cartes géologiques. De fait, plusieurs découvertes majeures ont été réalisées dans le cadre de cette étude, comme par exemple la découverte de nouveaux appareils volcaniques ou la mise en évidence de dépôts crétacés (bauxite, argiles sableuses et calcaires marins gréseux) au-dessus de la série jurassique, considérée jusqu'alors comme les derniers termes marins de la stratigraphie caussenarde.

Au cours de cette recherche, nous avons bénéficié de l'aide de plusieurs personnes qu'il convient de remercier ici :

- Le **Parc Naturel Régional des Grands Causses** qui nous a confié cette étude. Les données mises à notre disposition nous ont permis de mener cette recherche avec une plus grande efficacité.
- **L'Ecole des Mines de Paris**, et en particulier Régine Simon-Coinçon et Médard Thiry, nous ont permis d'effectuer des analyses sur les formations superficielles (RX, lames minces, micropaléontologie).
- Le **BRGM** nous a fait bénéficier de son matériel et notamment du camion sonde avec lequel nous avons réalisé une campagne de forage.
- **M. Jacques Pomié**, qui a mis à notre disposition son fond documentaire et sa connaissance encyclopédique du karst de ce Causse
- **M. Jean Bancillon**, président du Comité Départemental de Spéléologie de la Lozère nous a fourni les publications spéléologiques concernant le secteur étudié.
- **Paul Ambert** qui a suivi avec attention et intérêt l'ensemble de cette étude.

Si la réalisation de cette étude a été riche en découverte et répond, dans une large mesure, aux objectifs fixés, il reste néanmoins beaucoup d'informations à collecter et à traiter. Ainsi, pour être exhaustif, l'étude géomorphologique pourrait être complétée par étude approfondie de l'endokarst. L'analyse de sa structuration et de ses remplissages apporterait sans aucun doute,

nombre d'informations complémentaires. Mais il s'agit là d'un travail complexe et de longue haleine, par exemple dans le cadre d'un diplôme universitaire.

4.5.1.1 Description morphologique du secteur étudié

Le territoire d'étude concerne la partie ouest du Causse de Sauveterre comprenant le Causse de Sévérac, le Causse de Massegros et les Avants-Causses (cf. figure 90). Ils correspondent à trois entités qui se distinguent au point de vue géologique, hydrogéologique et géomorphologique.

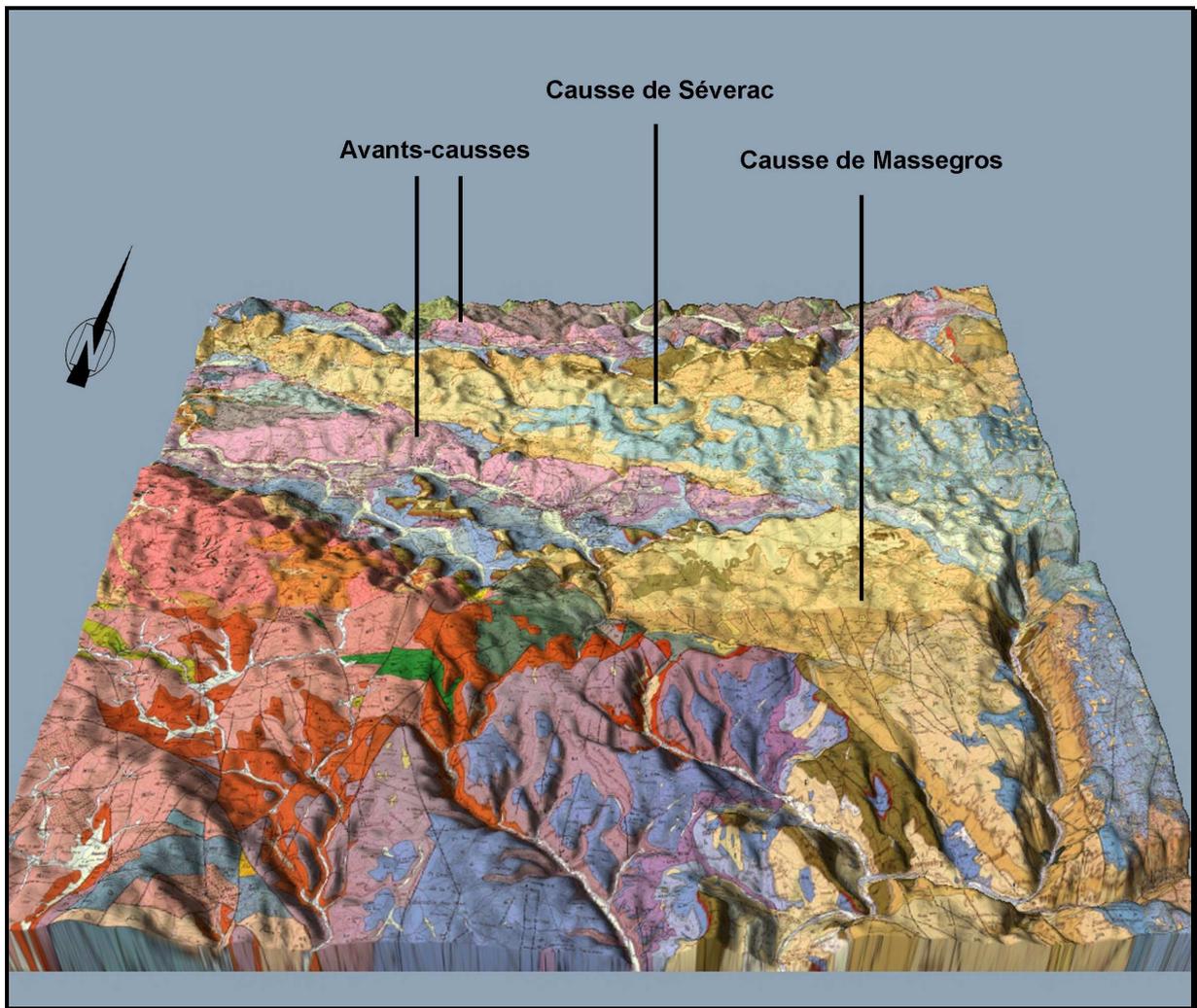


Figure 90 : Contexte géologique et géomorphologique global de la zone étudiée (réalisé à partir des scans de la carte géologique et de la BD MONA).

4.5.1.1.1 Le Causse de Sévérac

Situé au nord de la faille du Pas de Soucy, il constitue le prolongement oriental du détroit de Rodez. Globalement, l'altitude moyenne croît de l'ouest vers l'est, passant de 700 mètres NGF autour de Vimenet à près de 1000 mètres NGF à la limite orientale de l'étude (sud de St-Georges-de-Lévejac).

La topographie est particulièrement accidentée pour le domaine caussenard. De nombreuses buttes résiduelles culminant de 900 à plus de 1000 mètres d'altitude sont séparées par une série de vallons fluvio-karstiques bien hiérarchisés d'orientation sub-méridienne (ruisseau de Serre ; vallon de Pouzarac ; vallon d'Aguès ; combe des Rives ; Combelongue, St-Saturnin-de-Lenne ; Combelongue-Bonsecours, Campagnac. Ceux-ci bien représentés à l'ouest deviennent moins évidents dans la partie est, laissant la place à des vastes dépressions. Cependant, si ces dernières sont très encaissées par rapport aux buttes résiduelles qui les entourent, elles sont rarement fermées et se raccordent aux vallons fluvio-karstiques (la Tieule, Longviala, les Pertuzades, le Grand Viala). Quelques dépressions fermées profondes d'extension kilométrique contrastent nettement avec cette organisation : ce sont les dépressions des Crozes, le Sotch de Soulages (la Lande) et le Sotch de la Combe.

4.5.1.1.2 Le Causse de Massegros

Sa topographie est plus caractéristique de la morphologie des Grands Causses (cf. figure 91). Son altitude moyenne oscille autour de 850 mètres NGF. Les vallons fluvio-karstiques, s'ils sont visibles dans la partie ouest, laissent rapidement la place à des replats morphologiques plus ou moins défoncés par les dépressions karstiques.

L'une des formes majeures de ce Causse est la grande dépression qui se développe à l'ouest du village de Massegros. Orientée Est-Ouest, elle mesure plus de huit kilomètres de longueur pour deux kilomètres de largeur.

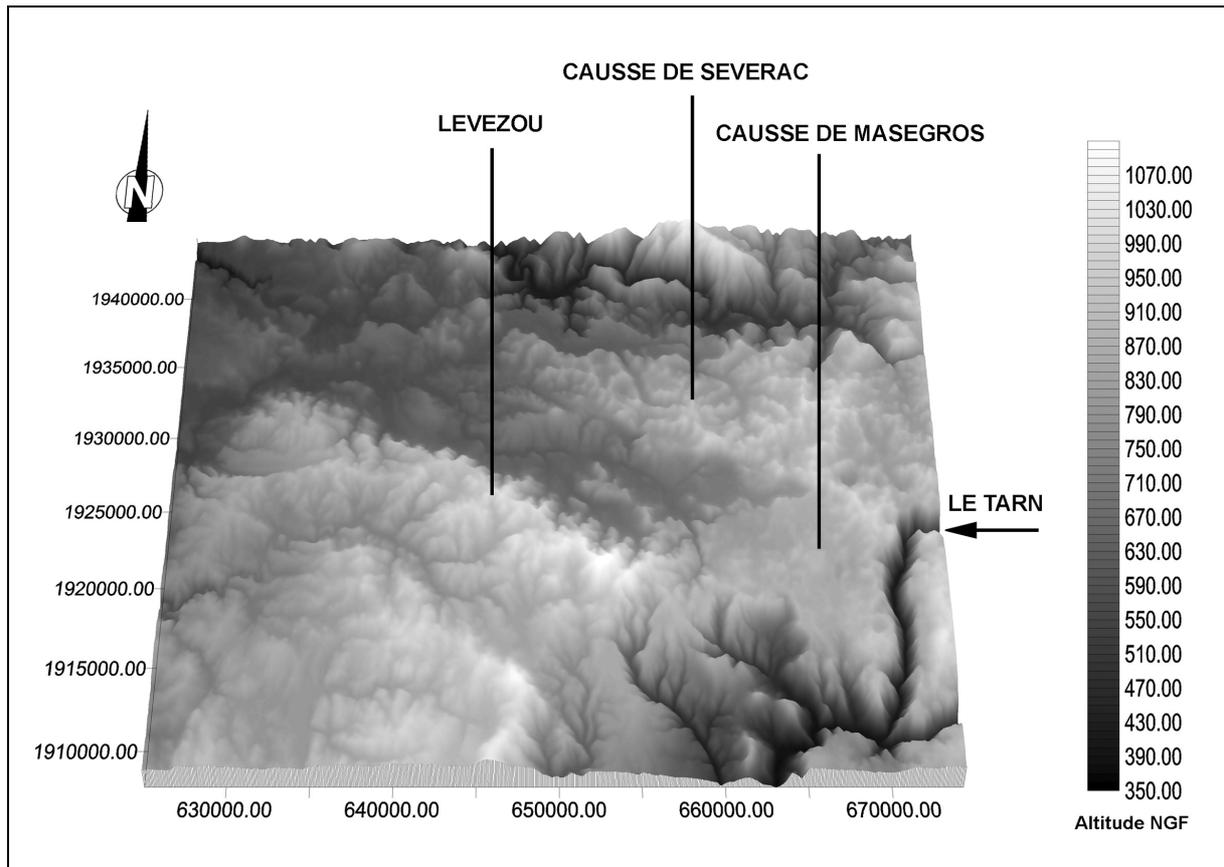


Figure 91 : Modèle numérique de terrain mettant en évidence la différence de topographie entre le Causse de Masegros et le Causse de Séverac.

4.5.1.1.3 Les Avants-Causse

Leur morphologie relève pour l'essentiel de l'exhumation de la surface structurale des calcaires du Jurassique inférieur. Localement, certaines similitudes altitudinales laissent penser que ces formations ont été regradées par des niveaux de replats dont les témoins restent néanmoins ténus. En outre, l'indigence des formations superficielles n'a d'égal que celle des morphologies karstiques. En effet, à l'exception près de quelques dolines et de quelques reculées karstiques, l'étude morphologique des Avants-Causse reste peu gratifiante. Ainsi, en dépit d'un travail de terrain comparable à celui mené sur les causse de Séverac et de Masegros, peu de données pertinentes ont pu y être collectées.

4.5.1.2 Les Acquis de l'évolution morphologique des Grands Causse

Plusieurs travaux récents ont fixé certaines étapes de l'évolution des Grands Causse (Ambert, 1990 et 1994 ; Ambert M. et Ambert P., 1995). Ainsi, le creusement des canyons qui constitue une modification radicale dans leur évolution morphologique est calé dans le temps. Cette donnée fondamentale fournit une fourchette chronologique plus précise et plus cohérente avec les observations réalisées récemment sur les Causse. Elle est appuyée par l'étude des sédiments néogènes du Bas-Languedoc. L'appoint du volcanisme de la bordure méridionale

du Larzac corrobore cet état de fait et renseigne sur les morphologies caussenardes pré-quadernaires. Il donne un "état des lieux" des paysages des causses et permet d'apprécier les héritages tropicaux du Néogène.

4.5.1.2.1 L'âge du creusement des canyons

4.5.1.2.1.1 L'état du creusement à l'orée du Quaternaire

Le volcanisme est un pourvoyeur privilégié d'informations paléogéographiques. Les possibilités de datations isotopiques ainsi que les documents environnementaux complètent l'information déduite des paléotopographies qu'il recouvre.

a – Les volcans de l'Escandorgue

L'Escandorgue méridional (Larzac) présente les meilleures preuves d'un creusement pré-quadernaire des vallées de la bordure sud des Grands Causses. En particulier, le secteur de Bernasso, dont l'âge a pu être précisé (Ambert *et al.*, 1991), montre un système fluvial de gorges étroites creusées dans l'Hettangien de 100 mètres de profondeur. Les dépôts pré-volcaniques s'y organisent suivant un escalier de terrasses fossilisées par la mise en place d'un volcanisme explosif. Celui-ci, daté de 2,05 Ma à sa base, édifie un barrage dans un secteur aval de la vallée. Il détermine un plan d'eau rapidement colmaté par une sédimentation détritique. Cette séquence participe, avec la poursuite du volcanisme de l'Escandorgue, à la fossilisation d'un ancien réseau fluvial sous plus de 300 mètres de dépôts. Il existait donc déjà, au Pliocène, un réseau fluvial creusé aux marges sud du Larzac.

b – La série des travertins de Millau

Bien que moins documentée au niveau de la charnière Plio-Quaternaire, la série des travertins de Millau permet d'appréhender les rythmes du creusement des gorges du Tarn. Les interférences des terrasses alluviales et des travertins liés à des exurgences latérales à cette rivière en font un modèle privilégié pour l'étude de l'évolution d'un des canyons majeurs des Grands Causses. L'analyse cartographique permet de dégager cinq phases principales de morphogénèse carbonatée (cf. figure) :

- Les travertins du château de Creissels (stade 2), fossilisent la terrasse de 10-15 m et sont datés par U/Th de 222 000 ans (+ 44 000, -33 000). Les témoins du stade 3 (travertins du Chenil) scellent deux niveaux alluviaux, celui de 20-30 mètres et celui de 40 mètres. Deux datations permettent d'attribuer à cette formation un âge supérieur à 350 000 ans et de la corrélérer avec les travertins de la Rouquette (6 datations U/Th supérieures à 350 000 ans). Cette estimation caractérise l'ensemble des travertins du stade 3.
- A Peyre, les alluvions du niveau 40 mètres du Tarn s'adosent au contraire sur une dizaine de mètres de haut, contre la base de la table de travertins, épaisse ici de près de 20 mètres. En conséquence, les travertins de Peyre sont plus anciens que ceux du stade du Chenil, ce que confirme l'association de datations U/Th supérieur à 350 000 ans et d'un paléomagnétisme à dominante négative. Ce double contrôle situe l'âge du travertin bien au-delà de la limite de la période inverse de Bruhnes-Matuyama, c'est à dire antérieurement à 720 000 ans.

- Le Plateau de France, le plus élevé, est le plus ancien (Stade 5). Il fossilise des formations alluviales du Tarn en totale inversion de relief. Le terme le plus bas est situé à 125 m d'altitude relative, en surplomb direct du cours de la rivière actuelle.

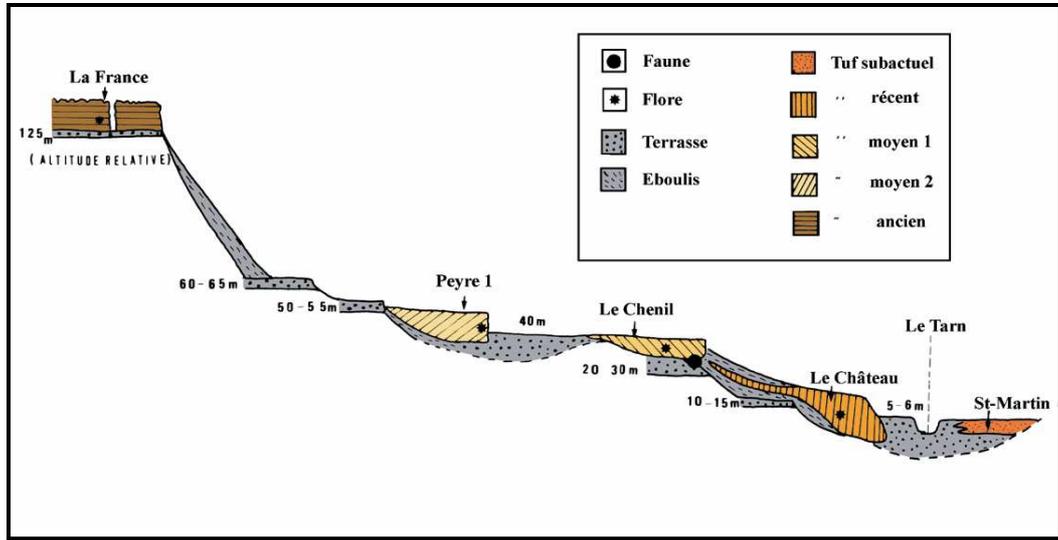


Figure 92 : Coupe synthétique des travertins de Millau (P. Ambert)

La situation altitudinale et la datation du travertin de Peyre permettent donc de souligner la faiblesse du creusement postérieur du Tarn lors des principales phases de la morphogenèse périglaciaire régionale. Elle correspond à une quarantaine de mètres pour un minimum temporel de 720 000 ans. La position du travertin de Peyre permet également d'apprécier l'importance de l'incision antérieure, de plus de 80 mètres, depuis le plateau de France. La formation de ce dernier peut de ce fait être attribuée à une période très ancienne du Quaternaire. Ainsi, depuis cette époque, le creusement du Tarn atteint 125 mètres alors qu'il est inscrit de 250 mètres sous le rebord des Causses. Cette valeur peut donc être imputée au creusement pré-Quaternaire, aux limites près de l'incertitude concernant la datation du Plateau de France.

4.5.1.2.1.2 Les enregistrements d'un creusement miocène

L'apport du volcanisme est ici encore fondamental et converge avec les enregistrements sédimentaires néogènes du Bas-Languedoc.

a – Témoignages et hypothèses concernant l'état des gorges à la fin du Miocène

Au niveau des gorges du Tarn, le volcanisme offre d'autres éléments d'appréciation pour cerner le début de l'incision des Grands Causses (Ambert, 1994). Le volcan d'Azinières (cf. figure 93), situé sur le Causse Rouge, est daté du Miocène supérieur (5,75 Ma, Gillot, 1974). Il recouvre le revers structural de l'Avant-Causse préalablement dégagé d'une partie des dépôts jurassiques, dont le Puech d'Andon, à l'est, est le dernier témoin. La topographie pré-volcanique domine de près de 400 mètres au sud le lit du Tarn. Son emboîtement est de même ordre par rapport à la surface d'érosion initiale des Grands Causses qui, à l'Est, tangente les

plateaux. Si l'on ne peut conclure, lors de la mise en place de ce volcan, que le revers structural du Causse rouge était totalement réalisé, il apparaît que le Tarn était déjà en contrebas de la corniche de ce Causse. Le volcanisme d'Azinières indique donc que dès le Miocène récent (Tortonien ?) la mise en chantier du creusement des gorges était effective.

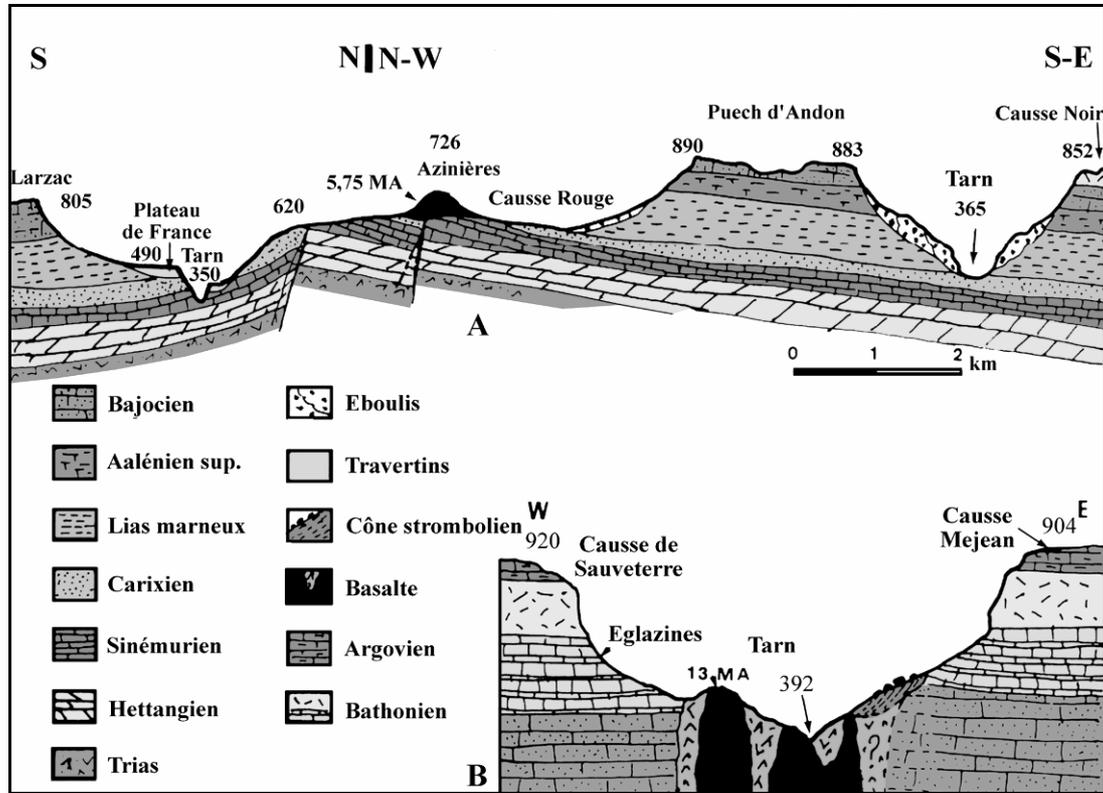


Figure 93 : Eléments de datation du creusement du canyon du Tarn (Ambert, 1994) :

A – dans le secteur d'Azinières (Millau)

B – au niveau du volcan d'Eglazines

b – Le témoignage convergent du volcan miocène d'Eglazines

Daté de 13 Ma (Gillot, 1974), il est composé d'une structure souterraine (dyke, brèches, neck) révélée postérieurement par l'érosion, sous-jacente à des éjectas volcaniques incontestablement aériens (phréatiques, stromboliens, brèche d'écroulement). Ces éjectas s'appuient contre l'encaissant jurassique avec de fortes pentes, à la limite du talus d'équilibre (cf. figure 93).

L'état exact du creusement des gorges antérieur au volcanisme reste cependant difficile à préciser. La mise en place d'un édifice volcanique préexistant au creusement du canyon, et qui aurait, par son explosivité, recoupé à l'emporte-pièce l'ensemble des terrains jurassiques sus-jacents n'est pas incompatible avec les observations précitées. La préexistence du Tarn demeure le meilleur moyen d'alimenter en eau (au niveau de pertes) une éruption phréatomagmatique du type de celle d'Eglazines. Aussi, dans l'état actuel des connaissances, le

contrôle de la volcanogenèse par un réseau hydrographique déjà ébauché apparaît comme une hypothèse possible.

c – L'appoint des formes et formations fluviales

- **Les témoins fluviaux** du début de l'incision des gorges ne fournissent pas, comme le volcanisme, de datations précises. En de nombreux points, l'existence de témoins de très hautes alluvions des gorges caussenardes vont dans le sens d'un continuum de l'évolution de leur creusement (Ambert *et al.*, 1978 ; Ambert *et al.*, 1997). Elles rendent caduque, de fait, l'hypothèse d'une évolution des gorges par foudroyage d'un cours initialement souterrain. Les recoupements de méandre sont de très bons arguments de l'évolution aérienne des gorges. Présents dans plusieurs canyons des Grands Causses, en contrebas des lèvres de canyons, ils restent les marqueurs des actions hydrodynamiques révolues.
- **Les épandages détritiques des plateaux** sont classiquement attribués depuis Martel à des paléo-écoulements fluviaux aériens antérieurs au creusement des canyons. Cette notion, localement vérifiable, a été abusivement systématisée, depuis les travaux de Cadillon (1970), à toutes les formations détritiques caussenardes. Nous verrons plus loin qu'il est possible d'isoler plusieurs types de formations, d'origines très diverses.
- **Les dépôts fluviaux deltaïques** à forte proportion de galets de quartz de la basse vallée de l'Hérault sont rapportables à ces épandages détritiques de plateaux (Ambert, 1995). Dès l'Oligocène terminal (Aguilar, 1981 ; Welcome 1993), des apports exogènes sont piégés dans le bassin de l'Hérault. Les séries détritiques sont constituées de galets bien roulés (quartz, lydiennes, chailles et calcaires jurassiques). Cet apport exogène, le premier du domaine néogène régional, matérialise le début des transits concentrés de matériel allochtone à travers le Larzac. Il s'accorde en outre assez bien avec celui de la première phase de creusement des gorges déduite de la position et de l'explosivité du volcan d'Eglazines.

Ainsi, il est désormais permis de considérer, au vu de ces arguments convergents, que dans le creusement des vallées régionales, la part qui revient au Néogène dépasse très largement celle attribuable aux morphogenèses quaternaires.

4.5.1.2.2 L'héritage tropical des causses

Pour plusieurs auteurs, les paysages ruiniformes, développés aux dépens des dolomies du Dogger, constituent les meilleurs témoins des morphogenèses néogènes (Enjalbert, 1967 ; Lehman, 1970 ; Schwarz, 1972 ; Ambert, 1989, 1990 ; Ambert M. et P., 1992) et confirment l'inaptitude des conditions actuelles à leur genèse. Les méga-lapiès sont présents en de nombreux points la partie ouest du causse de Sauveterre et se retrouvent sur l'ensemble des Grands Causses.

4.5.1.2.2.1 Description morphologique

Dans ses travaux, Paul Ambert isole deux formes primaires pour lesquelles il emploie à juste titre la terminologie vernaculaire des Causses (Ambert, 1982) :

a – Les Rajols

A l'exemple du Roc Castel (le Caylar), ce sont des reliefs arrondis, d'une centaine de mètres de hauteur, hérissés de quilles dolomitiques. Nous n'avons pas identifié de morphologies de ce type dans la partie ouest du Causse de Sauveterre.

b – Les Canaules

Plus fréquentes, ces formes s'ordonnent généralement sur un même plan horizontal (fond de poljé, banquette de corrosion), en contrebas des rajols. Ce sont des couloirs labyrinthiques, calqués sur la fracturation, dont la profondeur peut dépasser une vingtaine de mètres. Ces formes, dont les plus connues sont sur le Causse Noir (Montpellier-le-Vieux), occupent des surfaces importantes, notamment dans la moitié sud du Causse de Massegros mais aussi, plus ponctuellement, en plusieurs points dans la partie centrale du Causse de Séverac. Elles peuvent se prolonger horizontalement par des grottes (grotte de Longviala) ou en profondeur par des avens.

4.5.1.2.2.2 Genèse et évolution des méga-lapiès

a – Les conditions de mise en place

Sous les climats de type tropical humide, les secteurs calcaires ou dolomitiques proches du niveau de base subissent une importante crypto-corrosion (Nicod, 1972, 1975, 1977). Il s'agit, comme nous le verrons pour les calcaires à chailles, d'une altération *in situ*, par diffusion au sein de la masse dolomitique. Cette altération, rebaptisée "fantômisiation" (Vergari et Quinif, 1997 ; Quinif *et al.*, 1997 ; Bruxelles L. et S., 2003) s'applique aussi aux dolomies car elles relèvent des mêmes processus. Elle requiert le long terme, ainsi qu'un très faible gradient hydraulique.

La corrosion des dolomies est due à une nappe suspendue au sein d'une couverture. Elle agit de manière différentielle et les secteurs broyés ainsi que les dolomies les plus solubles sont transformées en grésou (sable dolomitique) formant les futurs couloirs (canaules). Ils isolent des secteurs dolomitiques plus sains qui constitueront, après déblaiement des altérites, les pinacles (cf. figure 94). Ces formes sont exhumées lors de l'évacuation du grésou soit par érosion, soit par soutirage karstique. Actuellement, ce type d'altération fonctionne au ralenti sur les Causses du fait de l'abaissement conséquent du niveau de base et de la disparition d'une grande partie de la couverture.

Grâce à leur solubilité moindre que celle des calcaires et leur résistance face au gel, les dolomies, par l'intermédiaire des méga-lapiès, sont les meilleurs témoins de l'héritage néogène tropical.



Figure 94 : Photographie - Elément de méga-lapiès dolomitique sur le Causse de Massegros, à l'ouest de la dépression de Cauvel.

b – Age de ces formes

Dans la plupart des cas, compte tenu de la proximité des gorges, la crypto-corrosion n'a pu être efficace qu'antérieurement au creusement des canyons, c'est à dire pendant le Néogène, dans une ambiance tropicale humide. Avec l'abaissement du niveau de base, l'érosion et le soutirage des altérites ont supplanté la corrosion.

Les formations basaltiques de l'Escandorgue confirment l'ancienneté de ces méga-lapiès. En plusieurs points (Perthus, Mézerens, Col Rouge, Mas de Mourié), la phase éruptive datée de 2,1 M.A. – 1,86 M.A (Gastaud, 1981 ; Gastaud *et al.*, 1983 ; Ambert et Ambert, 1982 ; Ambert, 1989) fossilise des méga-lapiès dolomitiques. Ceux-ci étaient préalablement dégagés de leurs altérites. La crypto-corrosion puis l'évacuation du grésou dolomitique sont donc antérieurs à la phase volcanique. De même, au Mas Raynal, les canaux ont guidé les épanchements basaltiques du volcan de Tapiès (Shwarz, 1970 ; Ambert, 1992), de fait nécessairement postérieurs. L'existence des pinacles dégagés des altérites à l'aube du Quaternaire implique indubitablement un abaissement du niveau de base et donc l'inscription des canyons caussenards en contrebas du plateau.

Donc, la surface des plateaux marquée par des héritages tropicaux néogènes, comme les canyons dont le creusement débute au Miocène, incitent, plus que jamais, à requérir le long terme pour appréhender leur évolution. L'étude des formes et des formations superficielles de la partie ouest du Causse de Sauveterre va dans ce sens et montre, grâce à la découverte de

nouvelles formations crétacées, que le très long terme est envisageable si l'on veut prendre en compte l'ensemble des héritages morphologiques.

4.5.1.2.3 Les dépôts Crétacés

Avec le creusement des canyons, les dépôts crétacés constituent le second élément majeur et bien daté dans l'évolution morphologique caussenarde. Les nombreux affleurements cartographiés sur le Larzac ont déjà permis de donner une idée de la morphologie d'ensemble des Grands Causses au Crétacé supérieur.

4.5.1.2.3.1 Les formations bauxitiques

Jusqu'alors inconnue sur les Grands Causses, nous avons découvert entre 1995 et 2001 plusieurs blocs de bauxite sur le Causse de Campestre, mais aussi sur la partie orientale du Causse de l'Hospitalet (Bruxelles, 2001).

La présence de la bauxite signe une évolution continentale relativement longue. Sans pouvoir être catégorique pour le moment, ces bauxites semblent correspondre au concept d'autochtonie relative ou de parautochtonie (Bonte, 1958, Combes 1972 et 1984). Leur formation débute sur le socle ancien par une altération de type latéritique. Puis elles sont érodées sur le site primaire et sédimentent sur la plate-forme carbonatée où elles vont connaître une seconde phase d'altération (Combes 1972 et 1990, Guendon et Parron, 1985). L'absence de pisolithes cassés dans ces bauxites va dans le sens de cette évolution *in situ*.

Par comparaison avec d'autres gisements languedociens et provençaux, l'âge de cette bauxite doit être compris entre l'Aptien et le Cénomaniens.

4.5.1.2.3.2 L'ingression marine du Crétacé supérieur

Nous reprendrons ici les sites majeurs découverts sur le Causse de Campestre. Ils nous permettront de mieux comprendre les observations réalisées sur le Causse de Séverac où des formations semblables ont été reconnues.

a – Le remplissage de la doline du Luc Bas (Causse de Campestre)

Elle associe dans un faible périmètre des formations variées. Plusieurs sondages à la pelle mécanique ont été nécessaires pour essayer d'appréhender les relations stratigraphiques entre les différents niveaux :

- La tranchée NW, non loin d'un affleurement de bauxite en place, montre la présence de gros blocs de bauxite emballés dans une matrice argilo-sableuse.
- La tranchée SE recoupe une quinzaine de mètres d'alternances d'argiles plastiques beige-rosé et de niveaux limoneux à sablonneux plus ou moins grossiers. Du fait du soutirage le pendage en direction du centre de la doline, assez homogène, avoisine les 50°.
- La tranchée ouest est plus complexe, notamment du fait du soutirage plus marqué. Contre la paroi, la brèche à blocs calcaires (mur jurassique) passe sans transition à une formation argilo-sableuse contenant des éléments variés (calcaires oncolithiques, lumachelle à charbons de bois, calcaires gréseux, marnes...).

Les formations rencontrées dans cette dernière tranchée constituent apparemment les termes supérieurs du remplissage de la doline du Luc. Ils montrent un caractère margino-littoral de plus en plus marqué, en accord avec la présence de calcaires gréseux d'origine marine sur le pourtour et en contre-haut de la doline.

Récemment, une campagne de forages réalisés avec le BRGM et l'Ecole des Mines de Paris nous a permis de recouper près de 40 mètres de dépôts. Il s'agit le plus souvent de formations deltaïques assez riches en matière organique, pouvant être comparées aux contextes des mangroves de la Floride actuelle.

b - Les témoins gréseux marins de la doline du Salze

Les calcaires gréseux, fréquents dans la doline du Luc Bas, sont également très abondants dans la doline du Salze (Causse de Campestre). C'est une dépression allongée calée sur deux petites failles orientées NS et de rejet modeste. Elle est encadrée par deux reliefs calcaires : le Puech Buisson à l'ouest et le Serre d'Aubanel à l'est.

Les marnes continentales à oncolithes conservées au fond de la dépression peuvent être rattachées par leur faciès et leur position stratigraphique aux formations de la doline du Luc Bas. Les calcaires lumachelliques ainsi que les calcaires gréseux semblent de toute évidence venir au-dessus des marnes. On retrouve plusieurs affleurements sur l'ensemble des versants qui encadrent cette dépression, le plus souvent en place, et ce jusqu'au sommet de reliefs calcaires.

Le contact avec le substrat jurassique s'opère par l'intermédiaire de brèches à blocs calcaires tithoniens et à ciment gréseux qui correspondent à des brèches littorales corrélatives de la transgression.

La localisation de nombreux témoins en place révèle l'existence d'une paléogéographie différenciée fossilisée sous ces dépôts. Le pendage du substrat jurassique étant à ce niveau très faible, ces indices permettent d'apprécier, en l'absence de rejeux tectoniques différentiels, l'épaisseur de ces dépôts marins. Ainsi, les affleurements du Serre d'Aubanel donnent un minimum d'une centaine de mètres de dépôts corrélatifs de cette ingression. Cette observation est en accord avec le maximum transgressif daté du Coniacien sur la courbe de Vail (Haq *et al.*, 1987).

En outre, l'examen des foraminifères (*Sornayina foissacensis*) permet de dater ces dépôts du Coniacien. La présence d'une forme endémique de la région gardoise permet de rattacher ces dépôts à ceux de la basse vallée du Rhône (cf. figure 95).

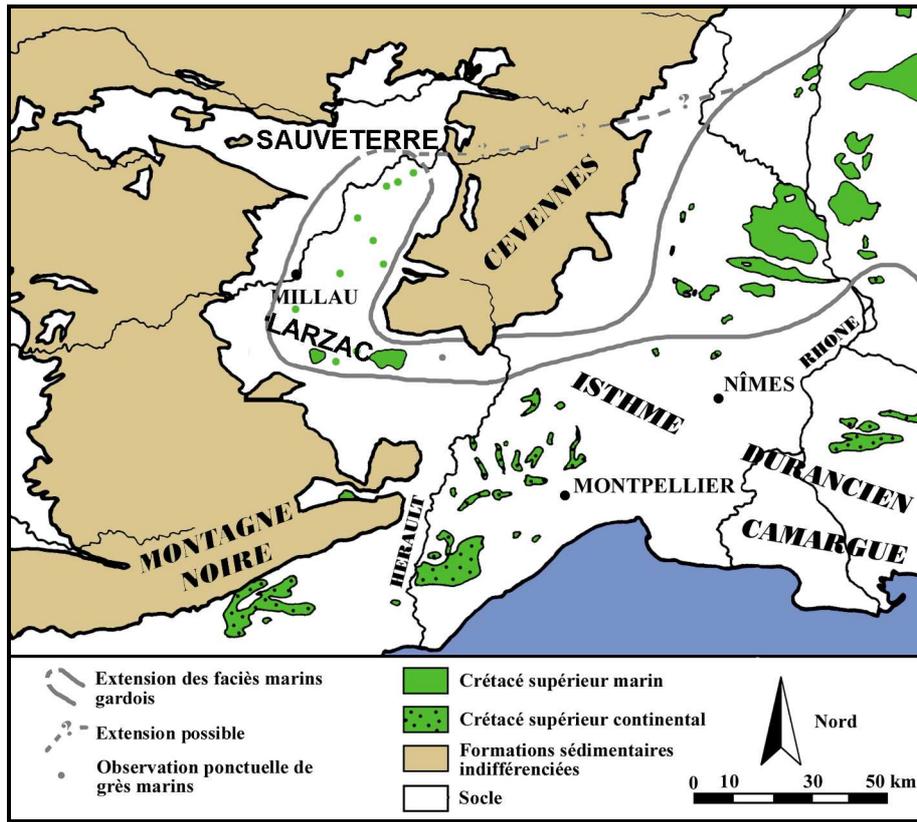


Figure 95 : Carte de répartition des affleurements connus de Crétacé supérieur en 2001. A cette époque, les dépôts du Causse de Sauveterre n'ont pas été encore découverts.

4.5.1.2.3.3 Le Crétacé terminal

Les marnes à pollens du Santonien supérieur-Campanien décrites dans la poche de la Virenque (Causse de Campestre ; Alabouvette *et al.*, 1984) apportent la preuve de l'existence d'une série continentale postérieure à la transgression.

Dans le Languedoc, ce sont des dépôts continentaux à galets de quartz qui clôturent la série crétacée (Demangeon, 1959 ; Bogdanoff *et al.*, 1984). Sur le Causse, on retrouve aussi un semis de dragées ovoïdes légèrement rubéfiées. D'ailleurs, la répartition de ces albarons se calque sur les principaux affleurements de Crétacé supérieur du Causse de Campestre et de la partie orientale du Causse de l'Hospitalet. Il apparaît donc que ces dragées, pour lesquelles aucun argument paléontologique n'a jamais permis de préciser l'âge, pourraient être attribuées au Crétacé terminal, réduit après altération à des accumulations de galets de quartz sur certains sommets des causses (Bruxelles *et al.*, 1999).

Cet épisode marque le retrait définitif de la mer et inaugure, pour les Causses situés au pied des massifs anciens, une série d'apports détritiques originaires des Cévennes. Il peut se corréler à une phase précoce de la compression pyrénéenne.

4.5.2 Les formations superficielles : description et répartition

Ces formations ont longtemps été négligées par l'ensemble des travaux géologiques sur les Grands Causses. Elles ont été rassemblées sous le terme de terre des Causses, puis de terra rossa, l'un et l'autre tout à fait impropre pour caractériser la genèse et la diversité de ces formations. Les études récentes montrent la pertinence de l'analyse de ces dépôts tant sur le point de la connaissance de l'histoire géologique des Causses, de la compréhension de la morphogenèse et de leur rôle dans le fonctionnement actuel du karst.

Pour décrire ces formations, nous nous baserons sur l'origine de ces dépôts. Nous partirons donc des formations autochtones ou parautochtones, issues de l'altération et de l'érosion de la série stratigraphique caussenarde, jusqu'aux apports allochtones, originaires des massifs avoisinants.

4.5.2.1 Les argiles à chailles

Elles proviennent de l'altération des calcaires à chailles du Bajocien inférieur (Dogger). Ces altérites, lorsqu'elles sont épaisses et bien développées, donnent des paysages vallonnés, largement cultivés, appelés "ségalas" (terme local employé ici par analogie avec les ségalas des plateaux cristallins). Ils sont caractérisés par une végétation silicicole (bruyères, châtaigniers), preuve d'une totale décarbonatation du milieu.

Trois types d'argiles à chailles peuvent être distingués :

- les formations autochtones (altérites en place, à structures conservées des calcaires à chailles),
- les formations parautochtones (déformation et entraînement gravitaire par soutirage karstique des altérites *in situ*),
- les formations allochtones (argiles à chailles ou chailles résiduelles, intégrées dans des formations de pente, des colluvions ou des couvertures de glaci). Du fait de la structure géologique du Causse, elles peuvent transiter et s'accumuler sur des niveaux du Dogger, voire du Malm, situés stratigraphiquement plus haut.

4.5.2.1.1 Les argiles à chailles autochtones et parautochtones

L'absence de coupe fraîche rend difficile l'observation de telles formations. Tout au plus se traduisent-elles par de petites indentations dans les corniches du Causse. Les altérites sont meubles et donc très sensibles à l'érosion. Néanmoins, une rectification du talus de la route reliant les Vignes à St-Rome-de-Dolan nous a permis de reconnaître ces formations que nous avons largement étudiées sur le Larzac (cf. figure 96).

Il s'agit en fait d'une série de poches développées dans les calcaires à chailles du Bajocien inférieur (J1a). L'intérêt de ces coupes réside dans le passage latéral des calcaires à chailles sains aux argiles à chailles, avec conservation des structures lithologiques originelles (altération isovolumétrique ou fantômisation ; Vergari, 1998 ; Quinif *et al.*, 1997 ; Quinif, 1999). En effet, les lits de chailles se suivent parfaitement dans les poches d'altération où ils ne montrent qu'un faible infléchissement vers le bas, probablement consécutif à la perte de matière due à la décarbonatation.

Ce tassement de structure peu marqué, malgré une totale décarbonatation du milieu au niveau des poches, témoigne de l'existence dans le calcaire initial, en dehors des rognons de chailles, d'un important squelette insoluble (silice, argile). Des expériences de dissolution dans une

préparation d'acide chlorhydrique à 10% confirment l'existence d'une grande proportion d'insolubles. Mais une substitution de matière par illuviation ou néoformation venant compenser le départ des carbonates lors de l'altération (argilification, silicification) est également envisageable.



Figure 96 : Photographie - Poche d'argile à chailles dans les calcaires à chailles du Bajocien inférieur. On distingue les lits de chailles qui ont conservé leur structure et attestent du caractère in situ de cette altérite.

4.5.2.1.2 Les altérites en transit

L'ensemble des affleurements de calcaires à chailles est affecté par ce phénomène d'altération. Ainsi, des formations argileuses à chailles seront susceptibles d'être remaniées en surface à chaque fois que ces calcaires affleurent dans des conditions morphologiques propices.

Depuis les affleurements de Bajocien inférieur, topographiquement en contre-haut du fait du pendage, les argiles à chailles sont érodées et remaniées vers les points bas, par l'intermédiaire de longs versants non structuraux, couverts d'altérites : les ségalas. Elles s'accumulent dans des dépressions développées dans les calcaires et les dolomies du Bajo-Bathonien. Elles proviennent donc des calcaires à chailles du Bajocien inférieur et circulent, du fait du pendage, sur les séries situées plus haut dans la colonne stratigraphique.

Ces formations sont épaisses de plusieurs mètres. Une tranchée réalisée au nord de Huguiès recoupe près de 3 mètres d'argiles à chailles (cf. figure 97). De même, la tranchée de la D94 au nord de Sermeillets montre une épaisseur supérieure à 5 mètres. Seule une série de sondages pourrait nous permettre de connaître leur épaisseur maximum, notamment au cœur du vaste secteur déprimé à l'ouest de Massegros.



Figure 97 : Photographie - Tranchée de près de 3 mètres de profondeur réalisée dans la couverture d'argile à chailles en contrebas de la D 995, au nord de Huguiès.

Il existe donc une couverture d'argile à chailles à chaque fois que le Bajocien inférieur à chailles affleure sur le Causse. Plusieurs ensembles ont été cartographiés (cf. planche 2) :

- A l'ouest du Massegros une vaste dépression plurikilométrique est recouverte en grande partie par ces formations. Les argiles à chailles descendent en direction du sud le long des ségalas depuis la bordure septentrionale du Causse et transitent sur des distances variant de un à deux kilomètres. Elles recouvrent les dolomies du Bajocien supérieur voire encore plus au sud, les calcaires du Bathonien inférieur. La limite méridionale de cet épandage est matérialisée par une série de reliefs contre lesquels viennent butter les argiles à chailles. Localement, il s'agit d'un ressaut topographique d'une vingtaine de mètres. Au-delà de cette limite nette on retrouve encore quelques fragments de chailles. Elles peuvent témoigner de l'existence d'une couverture d'argiles à chailles mais qui peuvent également provenir de lits de chailles qui existent dans les dolomies du Bajocien à chailles (Combelasays, sud du Puech de las Oulès, sud du Montbouissou).
- La bordure nord du Causse de Séverac présente également plusieurs points où les calcaires à chailles affleurent. C'est le cas notamment entre St-Urbain et Toutes Aures. Au pied des ségalas, plusieurs dépressions sont tapissées d'argiles à

chailles. Leur extension est cependant moindre qu' autour du Massegros. Quelques fragments de chailles se suivent sur plus de deux kilomètres le long d'un vallon fluvio-karstique qui débute au sud-ouest du hameau de St-Urbain. Enfin, quelques chailles ont été trouvées plus à l'ouest, autour du Ginou.

- Un petit épandage a également été reconnu à l'ESE de Recoules-de-l'Hom. La remontée des calcaires à chailles par la faille des Palanges a permis, au niveau de la ferme des Cèzes, le transit d'argiles à chailles. Un court ségala aboutit dans une profonde dépression. De mêmes, des chailles, localement abondantes recouvre un large secteur 1,5 kilomètres plus au sud, à l'ouest de la D9.

4.5.2.2 Le grésou dolomitique

Le "grésou" ou "sabel" sont des termes caussenards qui désignent les dépôts sablonneux provenant de la corrosion karstique (largement crypto-karstique), mais aussi météorique des dolomies.



Figure 98 : Photographie - Excavation de 2 mètres de profondeur réalisée au fond d'une dépression au sud de la ferme des Aubépinés (St-Rome-de-Dolan).

Il s'agit d'une crypto-corrosion sélective en fonction, plus particulièrement, de la pétrographie de la roche dolomitique et de sa fracturation. Cela correspond au phénomène de fantômisation déjà invoqué pour les argiles à chailles. Ici, le résidu est constitué par les rhomboédres de dolomite libérés de leur ciment calcaire. L'abondance de ce matériel permet la constitution d'une épaisse formation colluviale au fond des dépressions (cf. figure 98). Il favorise la conservation de l'humidité et la permanence des processus de crypto-corrosion.

Sa répartition géographique est calquée à peu de choses près sur les affleurements de dolomies (cf. planche 2). Ainsi, il est extrêmement abondant dans la moitié sud du Causse de Masegros et sur une grande partie de Causse de Séverac où il est noyé dans d'autres formations superficielles. Le grésou est fréquent sous terre, où il constitue l'essentiel de certains remplissages.

Son épaisseur est très variable en fonction des profils d'altération. Le dégagement des canaux montre que ce processus peut descendre à plusieurs dizaines de mètres de profondeur dans les zones fracturées. Il constitue donc d'importantes masses sablonneuses très sensibles au soutirage karstique. Ainsi, l'essentiel des avens développés dans ces formations est dû au soutirage de cette altérite. Leur morphologie ressemble le plus souvent à des grandes diaclases verticales qui correspondent à la frange de roche altérée le long des fractures (cf. figure 99). Elles sont généralement assez profondes et rejoignent directement le niveau des circulations karstiques.



Figure 99 : Photographie - L'érosion de la bordure nord du Causse Méjean met bien en évidence l'altération profonde des dolomies qui prédispose à la formation des couloirs (canaux) et des avens.

4.5.2.3 Les formations issues des dépôts crétacés

La distinction entre les dépôts crétacés en place et les formations résiduelles qui remanient ces formations est extrêmement délicate. Leur ancienneté et les morphogenèses successives qui ont modelé les paysages des Causses concourent à rendre difficile cette distinction. Cependant, certains affleurements de grès crétacés sont indiscutablement en place et révèlent l'existence d'une topographie différenciée en prélude à la transgression coniacienne. Dans ce cas, ces dépôts non remaniés ne font pas partie des formations superficielles, mais plutôt de la série stratigraphique caussenarde. Ce sont ensuite les matériaux issus de l'érosion et du remaniement des dépôts crétacés qui enrichissent les résidus de la dissolution des calcaires ou de la dolomie et s'intègrent dans les formations superficielles. Dans la moitié nord du secteur étudié, l'essentiel du remplissage des dépressions est originaire des dépôts crétacés (cf. planche 2).

4.5.2.3.1 Les formations bauxitiques

Inconnue dans les Grands Causses jusqu'en 1999, plusieurs affleurements de bauxite ont été découverts dans le cadre de cette étude sur le Causse de Séverac (Thiry *et al.*, 2004 et sous presse). La plupart ne se retrouvent que sous la forme de blocs rouges brique contenant des pisolithes ferrugineux dont la taille varie de 2 millimètres à plus d'un centimètre. La matrice argileuse est souvent indurée mais résiste mal à l'exposition aux agents atmosphériques. Des rayons X réalisés à l'Ecole des Mines de Paris confirment la présence de gibbsite¹.



Figure 100 : Photographie - Bloc de bauxite dans une doline à l'est des Fonds. Ce minerai d'aluminium est un jalon géologique majeur dans l'histoire des paysages des Grands Causses.

¹ Ces résultats viennent d'être présentés au colloque Paléogéographie organisé par la Société Géologique de France et l'Académie des Sciences les 8 et 9 mars 2004.

Ainsi, deux grandes dépressions contiennent de la bauxite que l'on retrouve uniquement sous forme de blocs arrachés par les labours : la Fagette et le Grand Viala. La surface d'affleurement ainsi que les volumes restes impossibles à évaluer sans forages. A l'est des Fonds, une autre doline contient un volume bien plus appréciable de bauxite. En effet, ces formations affleurent tout autour du fond de la doline, ainsi que sur les replats quelques mètres en contre-haut. Un puits de plusieurs mètres de profondeur a même été creusé dans la bauxite. Il s'agit du plus important gisement de bauxite connu à l'heure actuelle dans les Grands Causses. Enfin, des fragments de bauxite ont également été retrouvés dans le Sotch de Soulages et dans celle des Crozes.

La relative rareté de la bauxite n'en fait pas un élément déterminant dans la constitution des formations superficielles. Localement, lorsqu'elles sont abondantes comme à l'est des Fonds, elles colmatent efficacement le fond des dépressions. L'intérêt est ici essentiellement géologique et paléogéographique puisque la bauxite signe une longue évolution continentale avant la transgression crétacée. C'est pendant cette période que vont s'exercer les premières karstifications, en particulier sous les formations latéritiques en voie de bauxitisation. Cette crypto-corrosion affecte le mur calcaire et forme toute une série de dépressions dans lesquelles se différencient les profils bauxitiques. Certaines dépressions dans lesquelles nous avons retrouvé de la bauxite peuvent avoir été initiées dès cette époque. C'est ce qu'a confirmé l'étude de la doline du Luc Bas sur le Causse de Campestre (Bruxelles, 2003), mais aussi la découverte de calcaires gréseux crétacés sur le Causse de Sévérac.

4.5.2.3.2 Les calcaires gréseux marins

Absents sur le Causse de Masegros, ils abondent, parfois en position primaire, en plusieurs points du Causse de Sévérac. Ces grès sont généralement de teinte gris-jaunâtre à la cassure mais acquièrent rapidement une patine grise. Ils ont tous une origine marine et contiennent de nombreux macro-fossiles.

La fraction détritique est composée en quasi-totalité de quartz mats, émoussés à arrondis. Leur taille varie selon les échantillons de quelques dixièmes de millimètres à plus d'un centimètre. Ils sont accompagnés de fragments de charbons et de spicules siliceux blancs. Dans la fraction fine, on retrouve des minéraux originaires du Massif Central tels que des disthènes et des staurotides. Il y a également des tourmalines, des plaquettes de biotite et de muscovite. Par souci de simplification, nous rassemblerons sous le terme "calcaires gréseux" toutes les formations calcaires, gréseuses ou lumachelliques attribuables au Crétacé (Bruxelles, 2001).

Plusieurs secteurs présentent des concentrations remarquables de calcaires gréseux. Outre l'aspect ponctuel de ces informations, elles permettent de reconstituer les conditions de dépôts et leur extension :

- Une doline à l'est des Fonds est très instructive quant au mode de gisement de ces dépôts. En effet, ils se situent sur un replat intermédiaire, dominant les dépôts bauxitiques d'une vingtaine de mètres. L'affleurement mesure plusieurs centaines de m². Les calcaires gréseux sous-tendent un petit dôme où l'on retrouve tous les faciès de ces niveaux : calcaires gréseux, plus ou moins grossiers, lumachelle, calcaires fins... La position topographique de cet affleurement a un double intérêt : il surmonte les formations bauxitiques et il est inscrit plus d'une cinquantaine de mètres en contrebas des reliefs calcaires qui entourent la doline. Ces grès

matérialisent sans doute l'existence d'une paléo-doline dont la mise en place relève au moins en partie d'une karstification contemporaine de la bauxitisation. Puis, cette dépression a été fossilisée par les dépôts crétacés dont font partie les calcaires gréseux crétacés. Cela montre une fois de plus que l'ingression marine du Coniacien s'effectue sur un paysage karstique déjà largement développé.

- Plus à l'ouest, au nord du village d'Altès, une série de dépressions contient, elle aussi, des affleurements de calcaires gréseux. De nombreux blocs sont soulevés lors des labours et semblent occuper tout le fond de plusieurs dolines. L'une d'elle présente même une légère éminence constituée par un lapiaz développé dans ces calcaires crétacés.
- A l'est, les lèvres de la dépressions de Soulages (la Lande) présentent plusieurs échancrures correspondant à un niveau de replats dominant la dépression. L'un d'eux, au pied du relief de l'Ancize sous-tend sur son pourtour des placages de calcaires gréseux jaunâtres.
- Enfin, au sud du Causse de Masegros, nous avons retrouvé dans l'imposante dépression de Cauvel quelques blocs gréseux de ce type. Si leur attribution est confirmée, il reste à comprendre pourquoi on retrouve les calcaires gréseux uniquement dans cette dépression, en dehors de tout autre élément de Crétacé. C'est certainement dans les conditions de la mise en place de cette dépression qu'il faut en rechercher l'explication (cf. III.5).

Ces différents témoins apportent de nouvelles données fondamentales (Bruxelles et Simon-Coinçon, 2003). En effet, ils révèlent une étape géologique et géomorphologique majeure dans le sud de la France : l'existence d'une ingression marine coniacienne qui concerne l'ensemble du golfe des Grands Causses et qui s'effectue sur une topographie karstique préexistante (Bruxelles, 2003). Une partie de ces paysages ont pu se mettre en place pendant la longue période d'altération continentale qui a conduit à la formation des bauxites, c'est-à-dire entre l'Aptien et le Cénomaniens.

4.5.2.3.3 Les argiles versicolores sablonneuses

Beaucoup plus abondantes que les calcaires gréseux, ces formations se retrouvent dans des poches de taille variable bien visibles en bordure de certaines dolines. Ce sont des dépôts stratifiés, argileux, contenant une proportion variable de sable et de gravier de quartz. L'altération et la remobilisation du fer donnent à ces dépôts des teintes versicolores allant du blanc au rouge brique, en passant par de l'ocre et du rose violacé.

Plus rares sur le Causse de Masegros, ces dépôts argilo-sableux sont omniprésents sur le Causse de Sévérac. On retrouve notamment plusieurs de ces poches dans une doline à l'est des Fonds, dans le Sotch de Soulages, dans la doline de la Tieule...

L'attribution stratigraphique de ces formations reste délicate. Leur assimilation avec les dépôts crétacés est tentante car elles gisent dans les mêmes contextes que les calcaires gréseux et que la bauxite. Cependant, dans l'attente des résultats des analyses en cours, il est préférable de ne pas aller plus loin dans leur attribution. Par comparaison, elles peuvent s'apparenter aux argiles sableuses, localement versicolores, qui précèdent la transgression coniaciennes (doline de la Virenque et doline du Luc Bas ; Causse de Campestre) ou aux marnes campaniennes et aux séries détritiques continentales du Crétacé terminal.

Ce matériel constitue des couvertures épaisses dans la plupart des dépressions. Les poches que l'on trouve en bordure et légèrement en contre-haut du fond des dolines semblent exhumer une partie de leur remplissage. En effet, au fur et à mesure de l'enfoncement du fond de la doline par crypto-corrosion et par soutirage, des lambeaux de couvertures restent piégés dans les renforcements de la dépression. Ils se retrouvent à l'affleurement légèrement au-dessus du fond de la doline. Toutefois, il reste difficile de savoir si ces formations sont en place.

Dans tous les cas, l'érosion des ces dépôts meubles contribue largement à la constitution de l'essentiel des formations superficielles du Causse de Sévérac. Facilement remobilisables, elles colmatent le fond des dépressions. Elles permettent le maintien des processus de crypto-corrosion et la genèse de morphologies karstiques bien développées qui caractérisent ce Causse.

4.5.2.3.4 Les grès ferrugineux et les fragments ferrugineux à matrice fine

Considérés comme un alios de nappe développé dans des alluvions siliceuses (Cadillon, 1970), les grès ferrugineux des Grands Causses correspondent plutôt à des ferruginisations *in situ*, par des circulations incrustantes, au sein des dépôts crétacés initialement plus ou moins carbonatés (Bruxelles, 2001). Ces formations peuvent être comparées aux séries crétacées altérées des bassins du Gard et étudiées par C. Parron (1975). Lors du démantèlement des dépôts crétacés, il ne reste que les niveaux antérieurement ferruginisés, les plus résistants à l'érosion. Plusieurs observations sur le Causse de Sévérac viennent confirmer ces premiers résultats. En effet, nous avons pu observer à Cauquenas et au sud de la Fagette des niveaux de grès ferrugineux en place dans les poches d'argiles sableuses. Cette ferruginisation affecte des niveaux sablonneux ou graveleux entre deux lits argileux.

Ces grès correspondent aux argiles sableuse, mais aussi aux calcaires gréseux et aux calcaires lumachelliques ayant subi une ferruginisation (cuirasse ferrugineuse à faciès gréseux simple ; Nahon, 1971). D'ailleurs, les premières déterminations des fossiles marins du Crétacé supérieur ont été réalisées à partir de grès ferrugineux de ce type (Bruxelles *et al.*, 1999). Dans ce cas, la goéthite a remplacé la calcite et a conservé les empreintes de fossiles ou la texture des argiles. Dans le détail, après dissolution des carbonates, le fer se fixe dans les vides alors formés (structures d'accueil). Cette ferruginisation correspond à une accumulation absolue et l'origine de ce fer est peut-être à chercher dans la pyrite présente dans les formations crétacées.

Les fragments ferrugineux à matrice fine sont très répandus à la surface des Grands Causses. De couleur brun sombre et de forme variable, leur structure interne est homogène, parfois finement poreuse, et dépourvue de cortex ou de structure concentrique, ce qui les distingue nettement des vrais pisolithes ferrugineux (bauxite). Leur forme est très variable, allant de blocs de plusieurs dizaines de kilogrammes jusqu'aux gravillons émoussés à arrondis, parfois ovoïdes et à surface lisse et luisante, en passant par des plaquettes ferrugineuses ou des fragments d'aspect scoriacé. Plusieurs types parmi les plus courants ont pu être distingués :

- Les blocs ferrugineux associés aux grès ferrugineux sont souvent anguleux, assez massifs, pouvant atteindre plusieurs décimètres de section. Leur couleur est variable, de beige foncé à brun-noir. Ils sont souvent recouverts d'une pellicule foncée et luisante. Leur cassure rappelle fortement celle d'un bloc d'argile à débit polyédrique. Cet aspect argilomorphe s'atténue dans les blocs plus foncés, très denses, certainement plus marqués par la ferruginisation. L'association

systematique de ces blocs avec une grande quantité de grès ferrugineux plaide pour une origine commune. D'ailleurs, la composition minéralogique est comparable avec une forte proportion de quartz, et une matrice comprenant de la goethite, de l'hématite et de la kaolinite. Ces blocs ferrugineux à matrice fine et à cassure argilomorphe proviendraient de la ferruginisation de niveaux argileux présents dans les formations crétacées. D'ailleurs, certains grès ferrugineux contiennent des passées argilo-limoneuses ferruginisées de un à plusieurs centimètres d'épaisseur dont la texture est comparable à celle de ces blocs.

- Les plaquettes ferrugineuses et les fragments scoriacés se rencontrent fréquemment, aussi bien sur le Causse de Séverac que sur celui de Masegros. Leur formation plus ubiquiste ne concerne pas nécessairement les dépôts crétacés. Elle relève pour l'essentiel d'un même processus réalisé à partir de différentes formations argileuses (argiles à chailles, remplissage karstique, dépôts crétacés). Dans de nombreuses poches, on observe au contact de ces formations et du substrat calcaire, un enduit ferrugineux, épais parfois de plusieurs centimètres. Il recouvre même les blocs calcaires mêlés à la formation argileuse. Lors de l'érosion de ces poches, cet encroûtement ferrugineux est fragmenté et redistribué dans le stock des formations superficielles.

Les grès ferrugineux, quasiment absent du Causse de Masegros sont très abondants sur le causse de Séverac. Par endroits (la Tieule par exemple), ils constituent plus de la moitié du volume des formations superficielles. Dans ces secteurs, l'abondance de gros blocs dont certains dépassent allègrement la tonne, plaide pour un faible remaniement. Il s'agit a priori d'une résidualisation en surface et les dépôts sablonneux crétacés dans lesquels ils se forment occupent certainement encore le fond de la dépression.

4.5.2.4 Les apports allochtones

Alors que l'essentiel des dépôts quartzeux était considérés *ipso facto* comme mis en place par des cours d'eau qui sillonnaient le Causse juste avant le creusement des canyon (Cadillon, 1970 ; Rousset, 1970 ; Cals, 1978 ; Prever-Loiri, 1979), la découverte de formations crétacées détritiques réclame la plus grande prudence et rend caduque certaines de ces anciennes conclusions.

Globalement, deux types de formations quartzieuses, par définition allochtone, se distinguent sur les Grands Causses :

- les graviers et les sables quartzieux rubéfiés : auxquels on peut comparer les albarons reconnus dans l'ensemble des Grands Causses. Ce sont des graviers et des sables quartzieux très arrondis à légère rubéfaction superficielle d'altération. Ils ont une couleur saumon et une taille allant de quelques millimètres à un ou deux centimètres au maximum. Ces dragées de quartz, parfois fragmentées, sont associées à des plaquettes ferrugineuses et certaines de ces graviers sont même partiellement recouvertes d'enduit ferrugineux. Ils sont couramment associés à des fragments de grès ferrugineux crétacés dans lesquels on retrouve les mêmes éléments quartzieux encore pris dans leur gangue de goethite. Comme nous l'avons vu, ces formations découlent de la couverture crétacée qui recouvrait les niveaux jurassiques et dont il reste plusieurs témoins. Ces sables plus ou moins grossiers

constituent le résidu quasi indestructible piégé successivement dans les dépressions du Causse.

- les alluvions quartzeuses avec leur cortège de roches paléozoïques et mésozoïques : ces formations ne se trouvent que dans la partie occidentale du Causse de Massegros. Elles proviennent de la terminaison orientale du massif ancien du Lézou. Les terrains permo-triasiques qui affleurent dans ce secteur sont mis en contact avec les niveaux du Dogger par la faille des Palanges. On trouve essentiellement des fragments de grès arkosiques (Trias et Permien), de galets de quartz (anguleux à émoussés) dont il est difficile de préciser s'ils proviennent de niveaux de grès grossiers ou des filons de quartz, ainsi que de pélites lie-de-vin permienne. Ce sont des dépôts fluviaux mis en place par les cours d'eaux allochtones qui ont circulé sur les plateaux. Très souvent, la morphologie de ces paléo-vallées est lisible dans le paysage. En outre, la connexion avec l'amont cristallin est aisée à reconstituer (Montaliès, Recoules-de-l'Hom), voire dans certains secteurs encore effective (Sagnes, Novis).

La cartographie de ces dépôts révèle divers niveaux de transit dont certains ont encore une nette expression morphologique (lambeaux de replats ou de pédiments). Trois axes principaux ont été distingués :

- à l'ouest de Novis, un petit vallon passe sous l'autoroute et rejoint la vallée de la Verlenque. Ses alluvions sont constituées en grande partie de pélites permienne. En contre-haut, de part et d'autre du talweg, des replats conservent des témoins d'un transit plus ancien. Ce sont des grès triasiques ainsi que des pélites que l'on retrouve au sommet du Claux (904 m) et sur un replat intermédiaire sur le versant ouest du Montbouissou (882 m). Ces alluvions anciennes ainsi que ces morphologies semblent se raccorder à une dépression allongée orientée SSW-NNE situé à l'ouest de l'autoroute A 75 et qui démarre au nord de Montaliès.
- Le second démarre de la dépression de Novis. Une dépression allongée se dirigeant vers le nord contient une fraction de dépôts allochtones : gros quartz, pélites, grès et schistes.
- Au nord et à l'est de Recoules-de-l'Hom, quelques fragments de grès permo-triasiques se localisent dans la partie amont d'une série de dépressions allongées défoncées par le soutirage karstique.

En dehors des formations quartzeuses crétacées, les dépôts fluviaux allochtones sont donc très peu répandus dans le secteur étudié. Même en bordure du Tarn, on ne trouve pas de paléo-alluvions précédant la mise en place du Canyon. C'est seulement dans la partie ouest du Causse de Massegros que des dépôts allochtones ont pu être reconnus. Ils matérialisent un fonctionnement karstique binaire.

4.5.2.5 Les formations volcaniques

Toute une série d'appareils volcaniques jalonnent la faille des Vignes (cf. figure 101). Ce sont pour la plupart des phénomènes crypto-volcaniques mis au jour par l'érosion. Leur mise en place date du Miocène, voire du début du Pliocène (Coussergues, 13,8 +/- 0,7 Ma ; Lagarde, 7,05 +/- 0,25 Ma ; Buzeins, 6,90 +/- 0,3 Ma ; Montfalgous 4,37 +/- 0,4 Ma).

En dehors des environs immédiats de ces appareils, on ne retrouve que très rarement des éléments basaltiques intégrés dans les formations superficielles. De fait, ceux-ci ont un rôle très minoritaire dans la morphogénèse karstique et la constitution des couvertures.

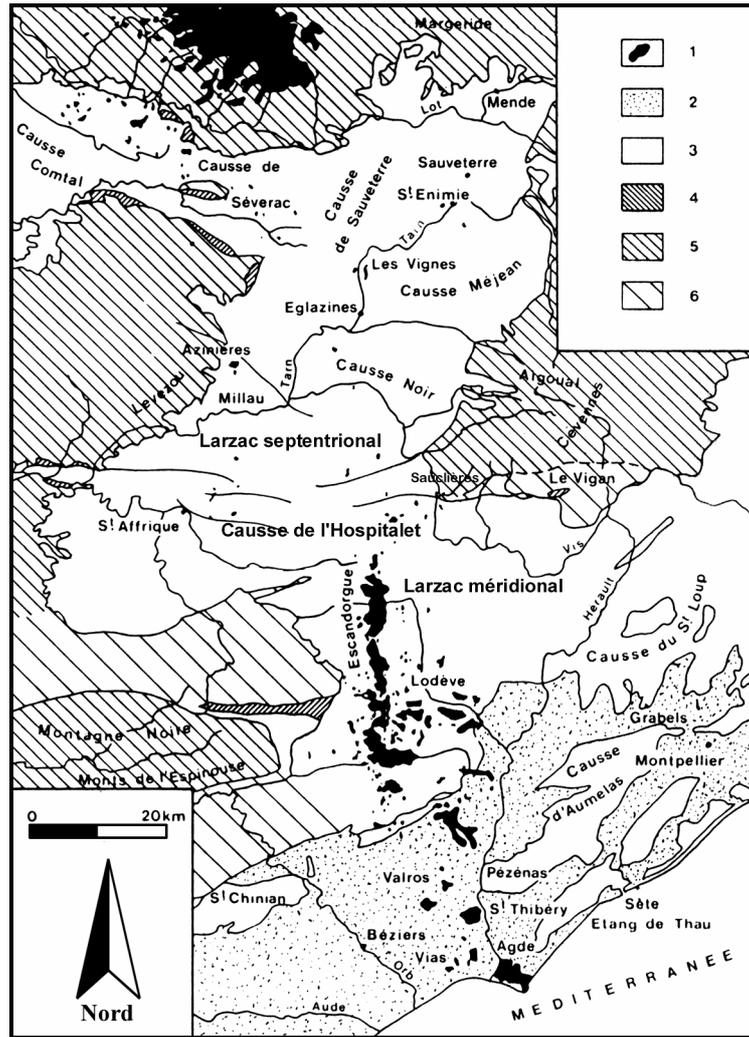


Figure 101 : Cadre géologique du volcanisme des Causse et du Bas-Languedoc.

- 1 – Volcanisme avec, du nord au sud : Aubrac, Causse, Escandorgue, Lodévois, Bas-Languedoc.
- 2 – Terrains tertiaires et quaternaires.
- 3 – Terrains permien et secondaires.
- 4 – Stéphaniens.
- 5 – Terrains anté-Stéphaniens non métamorphiques.
- 6 – Terrains anté-Stéphaniens métamorphiques.

D'après Ghristi *et al.* 1985, modifié.

Cependant, l'inspection de chaque doline et l'examen des formations superficielles nous ont permis de découvrir de nouveaux appareils dont le rôle sur l'hydrogéologie karstique et l'hydrochimie n'est certainement pas négligeable. Ainsi, quatre grandes dolines, de un à deux kilomètres de diamètre sont en fait des maars, c'est-à-dire des cratères d'explosion surmontant une cheminée volcanique. Un cinquième maar que nous ne détaillerons pas ici se situe en dehors du secteur étudié, au sud du hameau de Fonts.

- les Crozes : cette vaste dépressions avait déjà été interprétée comme un maar sur la base de mesures gravimétriques et magnétiques. Elles avaient détecté la présence

d'un lac de lave (basalte) à faible profondeur sous le fond de la dépression (40 m). Lors de notre visite, nous avons également trouvé sur la moitié sud de la dépression, une demi-couronne de pépérites. Ces brèches d'explosion sont constituées d'éléments basaltiques plus ou moins anguleux associés à des fragments de calcaires et pris dans une matrice argilo-sableuse. Le tout est fréquemment cimenté par des carbonates. Ces pépérites attestent bien qu'il s'agit d'un maar et que l'essentiel de la dépression dont elles suivent le pourtour est dû à sa mise en place.

- Le Sotch de Soulages (la Lande) est certainement le plus bel exemple sur le Causse. D'un diamètre approchant les deux kilomètres, il mesure plus de deux cents mètres de profondeur. Nous avons cartographié sur tout son pourtour des pépérites qui attestent là aussi que l'essentiel de la forme découle des explosions phréato-magmatiques. Une première campagne de forages menée avec le BRGM et l'Ecole des Mines de Paris nous a permis de réaliser un début de section de ce maar (cf. figure 102.). A cette occasion, plus d'une cinquantaine de mètres de formations argilo-sableuses litées, riches en matière organique, ont été recoupées. Il peut s'agir d'un lac de maar mis en place dans le creux constitué par l'explosion. Si les analyses en cours confirment cette interprétation, les dépôts lacustres du Sotch de Soulage pourraient avoir enregistré toute une partie de l'histoire géomorphologique et environnementale des Grands Causses.
- Un peu plus d'un kilomètre à l'est, la dépression de la Combe correspond, elle aussi, à un maar (cf. figure 103). Des blocs de pépérites assez volumineux sont régulièrement arrachés par les labours dans l'ensemble du fond de la dépression.
- Enfin, plus au sud, une autre dépression d'ordre kilométrique a attiré notre attention : la doline de Cauvel. Dans sa partie sud, nous avons découvert à la faveur de labour un dôme de pépérite qui laisse penser qu'ici aussi, l'essentiel de cette ample forme découle de la mise en place d'un maar.

Ces découvertes et ces observations pour l'essentiel inédites renouvèlent l'étude du volcanisme de cette partie du causse. De nombreux prélèvements ont été réalisés dans les formations lacustres, mais aussi dans les basaltes. Des datations radiométriques sont en cours au BRGM (P. Nehlig) et fourniront peut-être de nouveaux jalons majeurs dans l'histoire des paysages caussenards.



Figure 102 : Photographie : Une campagne de sondages menée avec le BRGM et l'Ecole des Mines de Paris nous a permis de recouper près de 50 mètres de dépôts argilo-sableux sombres, peut-être corrélatifs de l'existence d'un lac de maar.

Au point de vue hydrogéologique et hydrochimique, la présence de diatrèmes et surtout de formations volcaniques étanches dans le fond de ces dépressions doit introduire une certaine perturbation. Ainsi, elles permettent la formation de lacs qui persistent plus ou moins longtemps (Sotch de Soulages, les Crozes, les Fonts). De même, des sondages à la pelle mécanique suivis par une série de forages ont révélé le caractère aquifère de ces formations. L'eau a été trouvée à moins de 3 mètres sous le fond de la Lande, alors qu'un forage tout proche creusé dans les calcaires à plus de 500 mètres de profondeur est resté improductif ! Un test de pompage réalisé par les propriétaires des champs a montré une remontée rapide du niveau d'eau. Cette grande réserve, inespérée sur le Causse, a d'ailleurs largement été mise à contribution pendant la canicule de l'été 2003.



Figure 103 : Photographie : La dépression de la Combe n'est pas une doline classique mais un maar. Le fond est constitué de brèches d'explosion plus ou moins cimentées.

4.5.2.6 Les formations périglaciaires

Avec plus de 90 jours de gel par an en moyenne, les empreintes de phases gel-dégel sont encore très actuelles sur le Sauveterre. Elles se traduisent par l'existence de sols gelés (pipkrakes, mollisols, sols striés, sols polygonaux) et par une abondance de gélifractions, là où la lithologie s'y prête. Il suffit pour s'en convaincre d'observer certains clapas et anciens murets dont les éléments, réduits à un empilement de plaquettes calcaires désolidarisées, miment encore la forme des blocs.

La plupart des morphologies développées dans les calcaires présentent des versants régularisés, preuve évidente de l'action du gel pendant les périodes froides du Quaternaire. Pourtant, les dépôts périglaciaires hérités sont extrêmement modestes et mal représentés à la surface du causse.

Sur le Causse, les dépôts de grèzes calcaires sont rares. Tout au plus peut-on trouver des témoins conservés dans les fissures karstiques ou au fond de certaines dépressions. Cette rareté des dépôts périglaciaires traduit avant tout l'importance de la dissolution post-würmienne et holocène. Les fragments calcaires, débités en petites plaquettes, ont été particulièrement sensibles à la dissolution. Le soutirage et l'évacuation par l'endokarst ont certainement contribué à leur disparition en surface. Ailleurs, la forte proportion de dolomies à l'affleurement et la présence de diverses couvertures argileuses (argiles à chailles, Crétacé, terra rossa) ont diminué son impact.

En revanche, dans les canyons ou les reculées, les grèzes sont bien développées, surtout au pied des corniches calcaires (cf. figure 104). Elles atteignent en certains points plusieurs mètres d'épaisseur et sont partiellement consolidées par les encroûtements carbonatés.



Figure 104 : Photographie : Coupe de gélifrac de plus de 6 mètres d'épaisseur au nord de Mostuéjols

Sur les calcaires à chailles, l'impact du gel est équivoque. Sur les parois nues, en bordure des reculées, la gélifraction a pu s'effectuer sans entrave. Les chailles, préalablement parcourues de très nombreuses micro-fractures, y sont particulièrement sensibles. Sur les ségalas, la couverture d'argiles à chailles a eu un effet protecteur pour le substratum. En revanche, ces dépôts siliceux, peuvent, du fait de leur richesse en argile, être très largement remodelés par la solifluxion. Ils sont à leur tour repris par des actions hydrodynamiques superficielles et nourrissent la couverture d'altérites au fond des poljés.

Enfin, l'abondance de matériel clastique pendant le périglaciaire a contribué au colmatage des dépressions karstiques et des entrées de cavités. De plus, les conditions climatiques ont permis, au moins temporairement, la constitution d'un pergélisol. De ce fait, quelques circulations temporaires ont pu se maintenir à la surface du Causse, notamment vers le fond des dépressions et dans les vallons fluvio-karstiques. Ces conditions particulières ont restauré un transit superficiel comparable à celui qui a précédé le creusement des canyons et l'avènement du soutirage.

4.5.2.7 Les altérites des avants-causses

Les Avants-Causses sont un ensemble de croupes et de plateaux constitués exclusivement par les calcaires et les dolomies du Lias inférieur et moyen. Du nord au sud on distingue :

- L'Avant-Causse de Campagnac qui frange toute la bordure septentrionale du Causse de Sévérac (cf. figure 105). Ils sont séparés par un talus d'érosion développé dans les marnes liasiques
- Celui de Cornuéjols, situé au sud du Causse de Sévérac. La faille des Vignes met ici en contact les formations liasiques et la série Dogger-Malm des Causses.
- Le Causse Rouge dont seule une petite partie située en rive gauche du Bourg est concernée par cette étude. Là aussi, c'est un accident majeur, la faille des Palanges, qui met en contact le Causse et l'Avant-Causse. Cet Avant-Causse se distingue des deux précédents par sa morphologie et sa structure caractérisées par de très fortes pentes et un fort pendage.

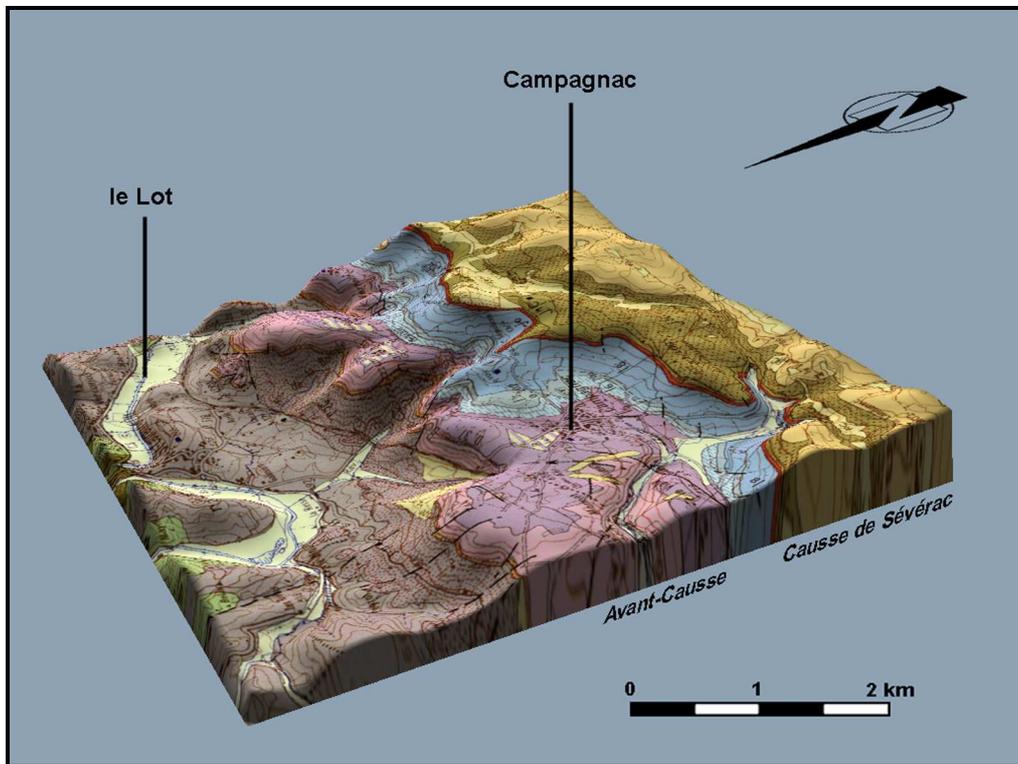


Figure 105 : Avant-Causse de Campagnac. Les plages blanches à rayures correspondent aux altérites issues de la décalcification des calcaires liasiques.

Bien que l'examen des formations superficielles des Avants-Causses ait bénéficié de la même attention que dans les plateaux du Jurassique moyen et supérieur, il n'a pas été possible de caractériser des formations autres que celles issues de l'altération du substrat. C'est l'érosion des marnes domériennes et toarciennes qui a permis d'exhumer le revers structural sous-tendu par les dolomies et les calcaires liasiques. De fait, l'essentiel de cette surface n'a pas enregistré l'histoire géomorphologique polyphasée des Causses.

Les formations meubles, quasiment absentes dans la portion étudiée du Causse Rouge du fait de la pente, couvrent des plages plus ou moins continues sur les autres Avants-Causses (cf. planche 2). Des blocs résiduels de calcaires et de dolomies y sont localement abondants. On peut distinguer une dominante plus sablonneuse dans les résidus de décalcification des dolomies hettangiennes et sinémuriennes. De même, quelques petits graviers de quartz ont été aperçus sur l'Avant-Causse au sud du Causse de Sévérac. Ils proviennent certainement des dépôts résiduels crétacés descendus par la bordure du plateau ou par voie karstique. C'est le cas également des fragments de chailles bajociennes qui matérialisent des transits évidents entre la corniche caussenarde et le toit des Avants-Causses. Enfin, il en est de même des fragments de basalte observés au pied des édifices volcaniques qui ponctuent la faille des vignes (Lagarde, Buzeins, ...).

4.6 L'apport des traçages

4.6.1 Traçages du ruisseau de Serre (traçages 12-1 et 12-2 Aveyron)

Le ruisseau de Serre a pour origine plusieurs exutoires drainant l'aquifère supérieur constitué par les calcaires et dolomies du Jurassique moyen et supérieur, dont les trois principaux sont les sources du Duc, du ruisseau de la Serre et du Vialaret. Un petit affluent du ruisseau de Serre issu du Sud de Campagnac et recevant l'effluent de la station d'épuration apporte un débit d'environ 5 l/s. Le débit de ces exutoires, de l'ordre de 60 l/s lors de l'injection des traceurs, ne suffit pas à rendre compte du débit de 92 l/s alors mesuré dans le ruisseau de Serre à la gare de Campagnac. A l'aval de ces exutoires, le ruisseau coule sur les terrains marneux et argileux du Lias supérieur (Toarcien et Domérien) avant d'aborder les formations carbonatées du Carixien, du Lotharingien et de l'Hettangien-Sinémurien constituant l'aquifère inférieur drainé par les émergences des courlinaux et au profit duquel il perd une proportion variable de son débit. On ne peut exclure l'hypothèse d'une exhaure occulte se déversant dans la zone marécageuse établie sur les marnes et argiles du Lias supérieur dans les reculées des sources du ruisseau de Serre, du Duc et du Vialaret et dans la vallée même du ruisseau en aval de la confluence de ces affluents. Le léger accroissement de débit (ou sa stabilité si l'on tient compte de l'incertitude affectant les mesures) constaté le 19 novembre entre l'amont de la zone de perte (89 l/s) et l'aval de cette dernière (92 l/s à la gare de Campagnac) montre que des apports compensent les pertes subies par le ruisseau.

L'objectif de ce traçage, déjà réalisé en 1976 semble t'il (SALVAYRE H., 1976, cité dans LOISELEUR B., 2006) était de confirmer l'hypothèse de l'existence d'une relation entre les pertes du ruisseau de Serre et les sources des Courlinaux I et II. Un traçage simple, réalisé par injection instantanée de traceur dans le ruisseau de Serre, devait permettre d'apporter une réponse à cette question. Nous avons suggéré de mettre à profit le dispositif de surveillance mis en place aux deux exutoires pour réaliser un traçage par injection continue dans le ruisseau de Serre afin d'estimer la part du débit de chacun de ces exutoires provenant du ruisseau. Cette méthode nécessite l'obtention d'un palier de concentration dans le ruisseau subissant les pertes et aux exutoires surveillés où, en conditions de débit stable, ce palier doit s'instaurer au bout d'un temps égal à la réponse impulsionnelle du système traçage correspondant à chaque exutoire.

Ce sont donc deux traçages - l'un, destiné à l'obtention de la réponse impulsionnelle du ou des systèmes traçages, par injection instantanée de 100 g d'éosine, l'autre, destiné à l'obtention des paliers de concentration, par injection continue de 1000 ml de rhodamine WT - qui ont été réalisés le 19 novembre 2002, dans le ruisseau de Serre, quelques dizaines de mètres en amont du point à partir duquel le lit mineur du ruisseau s'engage dans les formations carbonatées du Lias (calcaires du Carixien) où il subit des pertes diffuses. Le choix du point d'injection avait pour buts d'exposer la totalité du tronçon de ruisseau établi dans les calcaires au transit du traceur et de permettre l'obtention d'un bon mélange entre la solution de traceur et l'eau du ruisseau dès l'entrée du tronçon.

La surveillance s'est exercée en trois points à l'aide de préleveurs automatiques :

- dans le ruisseau de Serre, en amont de la gare de Campagnac, 1735 m en aval du point d'injection. Cette surveillance était destinée à obtenir les caractéristiques du transit des

traceurs dans le tronçon de ruisseau et la forme de leurs signaux d'entrée dans les éventuels systèmes-traçage « perte du ruisseau de Serre-sources de Courtinaux I et Courtinaux II » ;

- à l'exutoire de Courtinaux I. Cette émergence est située à la base des dolomies de l'Hettangien-Sinémurien,
- à l'exutoire de Courtinaux II, situé à 125 m de l'exutoire de Courtinaux I, dans le même contexte hydrologique.

4.6.1.1 Traçage par injection instantanée (éosine, traçage 12-1 Aveyron)

Il a été réalisé à l'aide d'une solution aqueuse de 100 g d'éosine gamma injectée dans le ruisseau à 12h20 TU le 19 novembre 2002.

4.6.1.1.1 Transit de l'éosine dans le ruisseau de Serre

La surveillance exercée dans le ruisseau en amont immédiat de la gare de Campagnac, 1735 m en aval du point d'injection, a permis de montrer que l'essentiel de la masse de traceur a transité dans le ruisseau à la vitesse apparente de 319 m/h. Le calcul des débits massiques et de la D.T.S. a été effectué pour un débit supposé constant de 92 l/s. Le traceur a subi une dispersion relativement faible puisque la valeur maximale de la distribution des temps de séjour (D.T.S.) a été de $1,86.10^{-4} \text{ s}^{-1}$ et que le nuage de traceur est passé en deux heures au point surveillé.

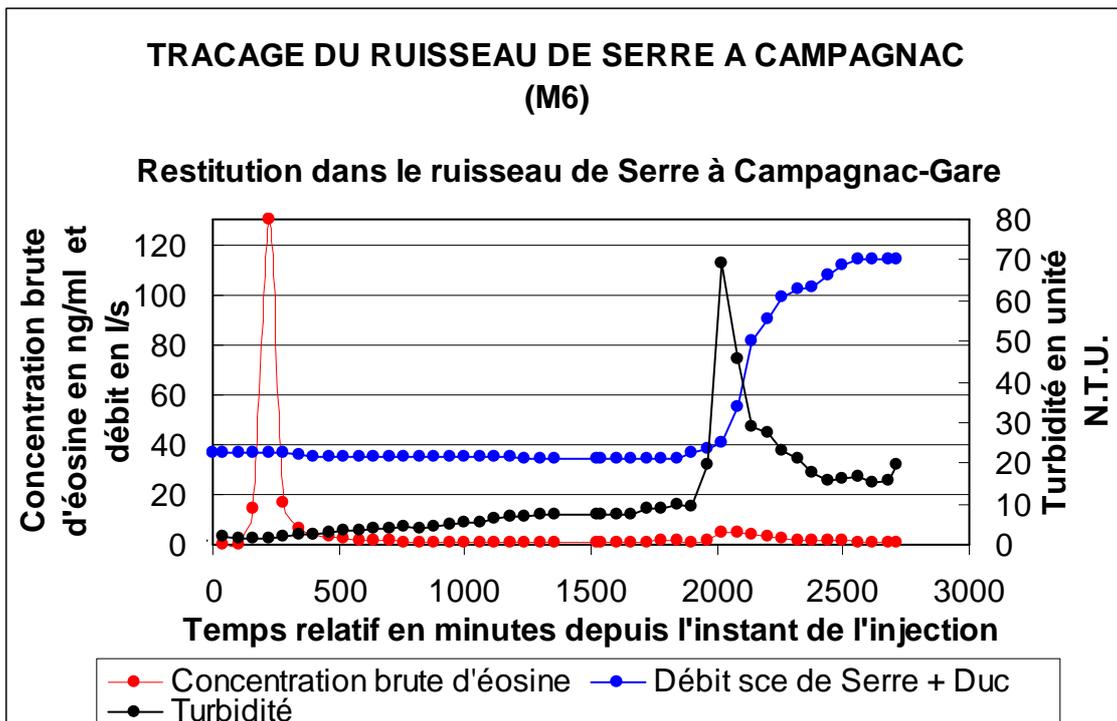


Figure 106 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection instantanée). Restitution dans le ruisseau de Serre à Campagnac-Gare

4.6.1.1.2 Restitution à l'exutoire de Courتناux I

La restitution de l'éosine à l'exutoire de Courتناux I a débuté environ 11 heures et 20 minutes après l'injection. Elle s'est déroulée en majeure partie en conditions hydrologiques de tarissement, jusqu'à une crue qui a débuté 31 heures et 40 minutes après l'injection. Cette crue a probablement accéléré la restitution du traceur. En effet, les spectres d'excitation et d'émission réalisés sur les échantillons 9,10 et 11 de la deuxième série d'échantillons ont montré la disparition du signal entre les échantillons 9 et 10 alors que le signal brut montrait une forte croissance liée à l'apparition d'une turbidité entraînée par la crue.

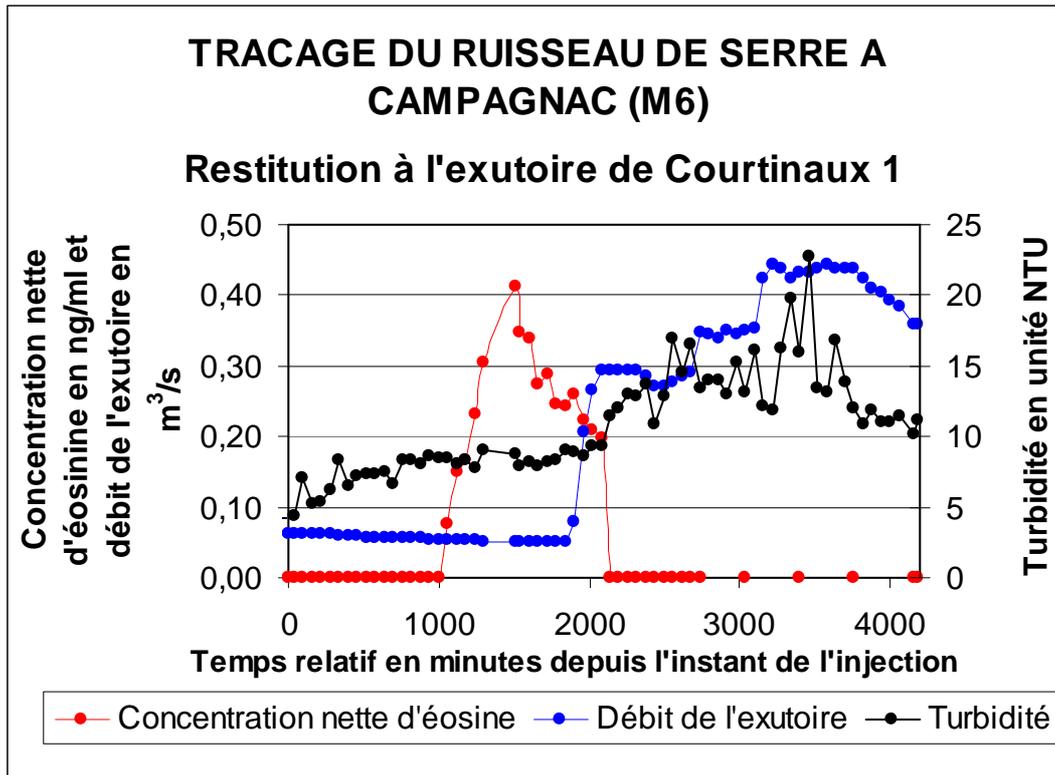


Figure 107 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection instantanée). Restitution à l'exutoire de Courتناux I.

La réponse impulsionnelle du traceur, dans les conditions de l'expérience, a donc été sensiblement raccourcie par les variations de débit observées. Sa durée est de 17 heures et 20 minutes.

La vitesse apparente de transit est de 59 m/h et la masse de traceur restituée de 1,38 g, ce qui correspond à la restitution de 1,38 % de la masse injectée dans le ruisseau.

4.6.1.1.3 Recherche du traceur à l'exutoire de Courتناux II

Le signal brut émis aux longueurs d'onde de l'éosine présente de fortes valeurs à partir du 12^{ème} échantillon de la 2^{ème} série (21 novembre 2002, 11h00). Ces fortes valeurs correspondent à l'apparition d'une turbidité élevée (maximum : 23 N.T.U.) provoquée par la crue. Mais les spectres d'excitation et d'émission montrent l'absence d'éosine dans les

échantillons, à l'exception des échantillons 5 et 6 de la 3ème série (21 novembre 2002, 15 et 16h) dont les spectres d'émission présentent un pic à la longueur d'onde d'émission de l'éosine, alors que les spectres d'excitation ne comportent pas le pic d'excitation qui devrait résulter de la présence de ce traceur. Les spectres réalisés sur les éluats méthanoliques de cartouches TC18 utilisées pour concentrer 100 fois les échantillons n'ont pas permis de confirmer la présence d'éosine. En conclusion, l'éosine n'a pu être décelée dans les échantillons prélevés à la source de Courtinaux II au seuil de détection autorisé par le spectrofluorimètre utilisé pour effectuer les mesures ($5 \cdot 10^{-11}$ à 10^{-10} kg/l selon la fluorescence naturelle des échantillons) ou à une concentration 100 fois plus faible dans les extraits méthanoliques.

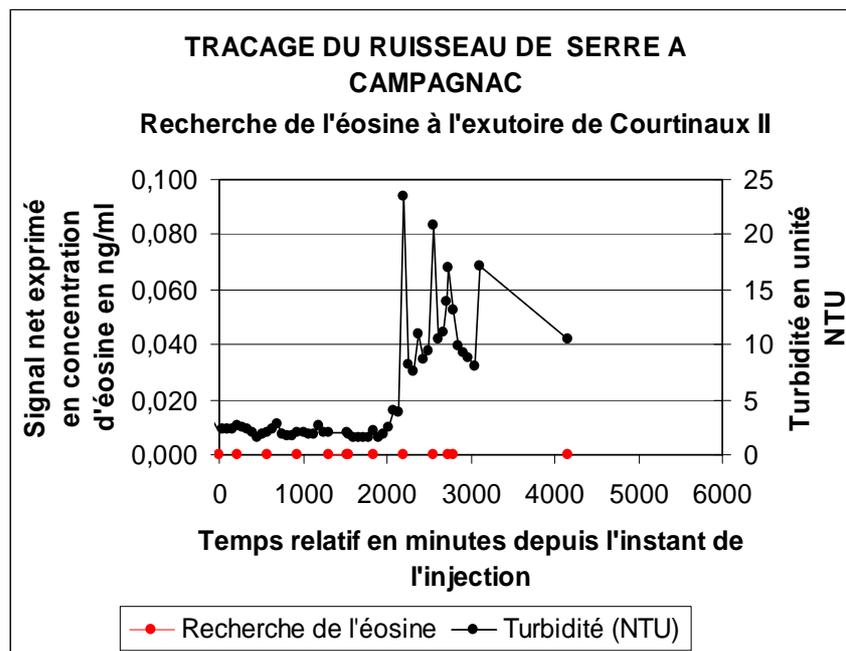


Figure 108 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection instantanée). Recherche du traceur à l'exutoire de Courtinaux II.

4.6.1.2 Traçage par injection continue (rhodamine wt, traçage 12-2 Aveyron)

4.6.1.2.1 Injection et transit dans le ruisseau de Serre

La mise en œuvre de ce traçage s'est heurtée à deux difficultés :

Suite à l'apparition d'une prise d'air sur le tube adducteur de la solution mère de rhodamine WT au débitmètre du dispositif d'injection continue, la constance du débit n'a pu être assurée. Ainsi, la courbe de concentration obtenue en amont de la gare de Campagnac montre une décroissance de 84 nl/ml, 4 heures après le début de l'injection, jusqu'à 16,3 nl/ml 27 heures après. La décroissance a d'abord été très rapide, la concentration passant de 84 nl/ml à 33 nl/ml en 8 heures, puis beaucoup plus lente au cours des 19 heures suivantes. Cette plage de

concentration peu variable permettra l'exploitation des résultats du traçage en vue de l'évaluation de la contribution des pertes du ruisseau au débit de l'émergence de Courtinaud I. Il est également possible que la faible décroissance observée à partir de 8 heures après l'injection ait été provoquée par l'augmentation de débit du ruisseau consécutive aux précipitations. La remise en état du dispositif d'injection le 20 novembre à 13h20 a permis d'obtenir une concentration voisine de 125 nl/ml pendant quelques heures. La dilution entraînée par la crue du 20 novembre a ensuite ramené la concentration à une valeur proche de 20 nl/ml pendant 10 heures.

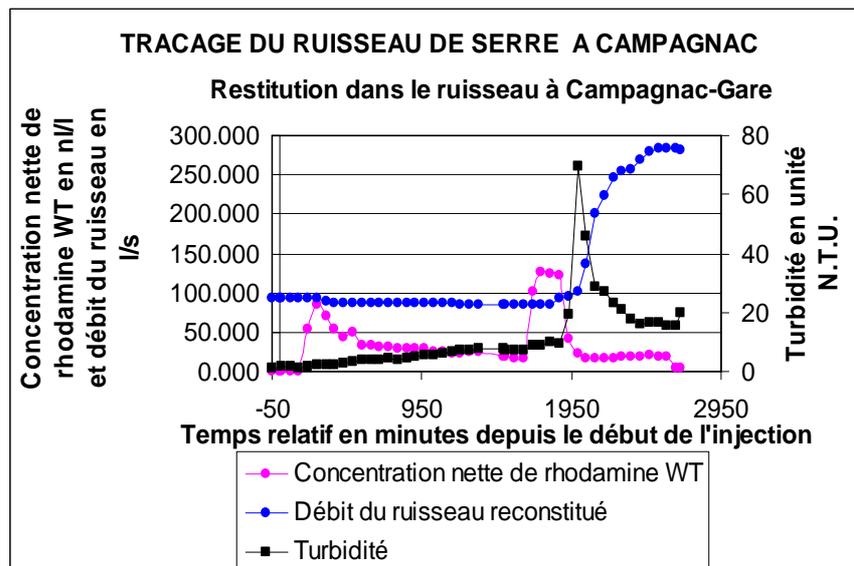


Figure 109 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection continue). Restitution dans le ruisseau de Serre à Campagnac-Gare

Le calcul des débits massiques et de la D.T.S. a été effectué à partir d'une chronique de débits supposés proportionnels à la somme des débits des sources du ruisseau de Serre et du Duc, en prenant comme référence le débit du ruisseau mesuré le 19 novembre à la gare de Campagnac.

4.6.1.2.2 Restitution a l'exutoire de Courtinaux I

Les spectres d'excitation et d'émission ont permis de déceler l'arrivée du traceur 19 heures après l'injection. La courbe de concentration n'est interprétable que pendant 17 heures, jusqu'au 21 novembre 0h00 où la crue entraîne l'apparition d'un surcroît de turbidité (passant de 9,3 à 11,5 N.T.U.) qui génère un signal brut nettement plus élevé d'où il est impossible d'extraire un signal net de rhodamine WT en raison de la très faible intensité de ce dernier comme le montrent les spectres d'excitation et d'émission et de sa présence très erratique liée au caractère fortement varié du régime hydrologique.

La courbe de restitution présente une croissance régulière jusqu'au 20 novembre à 17h (1690 minutes après le début de l'injection). Son allure est ensuite plus accidentée jusqu'au 20 novembre à 23h où le signal brut présente la forte croissance signalée plus haut. Le palier de concentration correspondant au créneau d'injection continue n'a donc pas été atteint, mais la durée de la partie interprétable de cette courbe (17 heures), identique à celle de la réponse

impulsionnelle du traçage par injection instantanée réalisé à l'aide d'éosine, suggère que ce dernier était sur le point de s'établir quand la crue est intervenue.

Le débit perdu par le ruisseau de Serre au profit du système karstique de Courtinaux I peut donc, dans les conditions de l'expérience, être estimé comme suit :

Concentration moyenne du « palier de concentration » observé dans le ruisseau de Serre du 19 novembre 22h00 au 20 novembre 16h00 : 25 nL/L ;

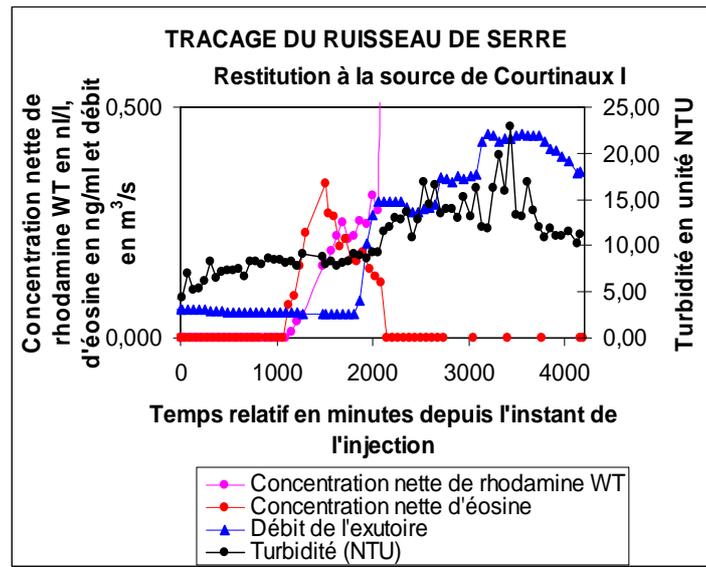


Figure 110 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection continue). Restitution à l'exutoire de Courtinaux I

Concentration moyenne du « palier de concentration » observé à l'exutoire de Courtinaux I du 20 novembre 17h00 au 20 novembre 23h00 : 0,25 nL/L ;

L'eau perdue par le ruisseau de Serre a donc subi, dans les conditions de l'expérience, une dilution d'un facteur 100 par l'eau du système, ce qui signifie que 1% du débit de ce système, soit environ 0,5 l/s, provenait des pertes du ruisseau de Serre. La contribution des pertes de ce cours d'eau s'avère donc très faible.

4.6.1.2.3 Recherche du traceur a l'exutoire de Courtinaux II

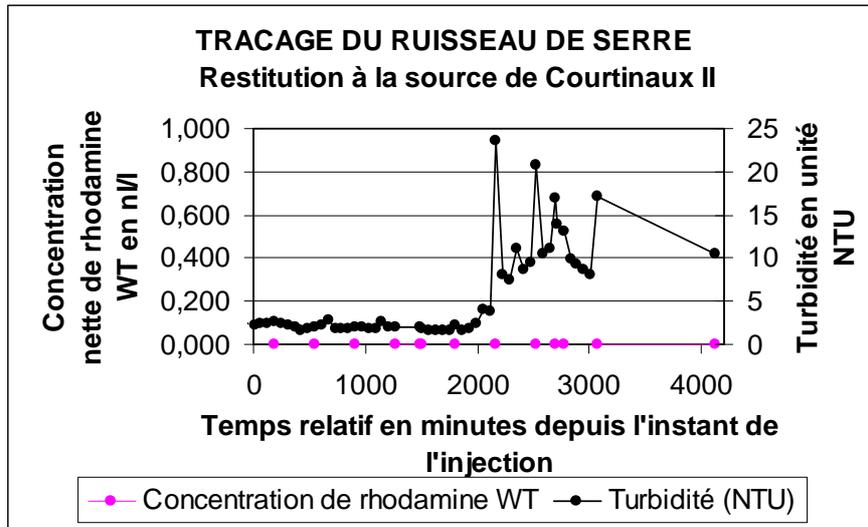


Figure 111 : Traçage du ruisseau de Serre à Campagnac (injection continue). Recherche du traceur à l'exutoire de Courtinaux II.

Comme pour celle de l'éosine, la recherche de la rhodamine WT à l'exutoire de Courtinaux II s'est avérée vaine : aucun des spectres d'excitation et d'émission réalisés sur les échantillons ayant présenté les concentrations brutes les plus fortes n'a montré la présence des pics caractéristiques de ce traceur.

4.6.1.3 Conclusion

La réalisation d'un double traçage du ruisseau de Serre en amont de la traversée des formations carbonatées du Carixien, du Lotharingien et de l'Hettangien-Sinémurien constituant l'aquifère inférieur drainé par les émergences des courtinaux a permis de mettre en évidence une alimentation de la source de Courtinaux I par des pertes du cours d'eau et d'estimer la contribution de ces pertes, dans les conditions de l'expérience, à environ 1% du débit de l'exutoire, soit 0,5 l/s. La fraction de débit perdue par le ruisseau dans ces conditions est de l'ordre de 0,5 %.

4.6.2 Traçage de la perte des Pradels (traçage 12-3 Aveyron)

Entre Sermels et Recoules-de-l'Hom, les écoulements superficiels qui drainent les terrains très peu perméables du compartiment sud de la faille des Palanges (grès du Trias, schistes et argilites du Permien) se perdent en venant en contact avec les terrains perméables du compartiment nord (calcaires et dolomies du Bajocien et du Bathonien). D'Ouest en Est, se succèdent les pertes du ruisseau du Verlencuze, du ruisseau du Verlenque, du ruisseau de Montaliès, des Pradels, des Sâgnes et du Soucis.

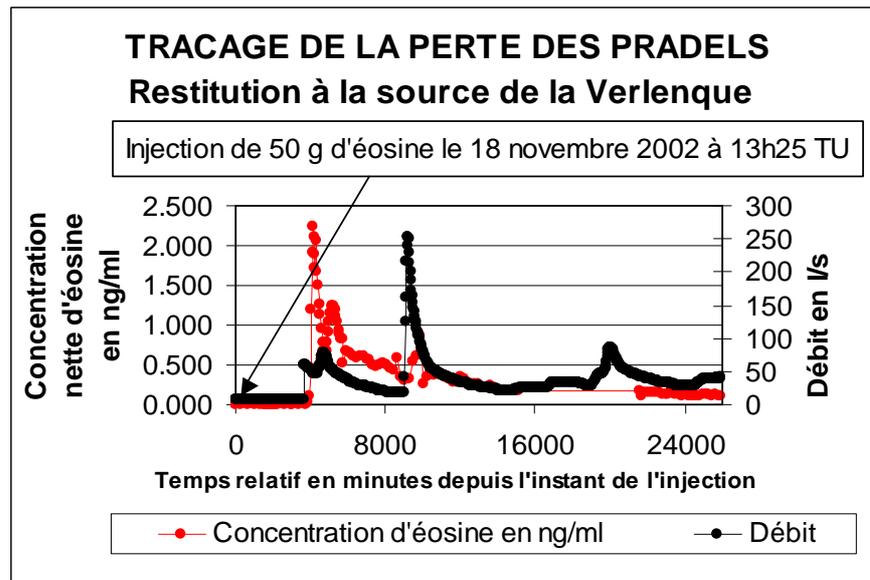


Figure 112 : Traçage de la perte des Pradels . Restitution de l'éosine du traceur à la source de la Verlenque

L'objectif des traçages des pertes des Pradels, des Sâgnes, du Soucis et de la doline du Serre des Grèzes était de préciser la situation de la limite entre les systèmes hydrologiques karstiques drainés vers les exutoires situés dans les vallées du Verlenque et de l'Aveyron d'une part et les systèmes drainés vers la vallée du Tarn d'autre part.

Les exutoires de la Murailasse, de la Verlenque, de Bastide, situés dans la vallée du Verlenque, ceux de Cayrac et de l'Aveyron, situés dans celle de l'Aveyron, et l'exutoire de Rouveyrol situé dans celles du Tarn ont été surveillés à l'aide de préleveurs automatiques dans le cadre de ce traçage et de ceux des pertes des Sâgnes, du Soucis et de la doline du Serre des Grèzes.

En raison d'une possible restitution du traceur à l'exutoire capté de Cayrac et afin de ne pas perturber la distribution de l'eau, le traçage de la perte des Pradels a été réalisé à l'aide de 50 g d'éosine gamma.

4.6.2.1 Principaux résultats

Le traceur a réapparu à la source de la Verlenque, à la faveur de la succession de deux petites crues, à une concentration maximale de 1,24 ng/ml, soit $1,24 \cdot 10^{-9}$ kg/l. La variation de débit est probablement à l'origine de la partition de la courbe de concentration en deux pics, la crue suivante, plus forte, ayant entraîné l'apparition d'un troisième pic porté par la partie décroissante de la courbe.

4.6.2.2 Discussion

Ce résultat vient en contradiction avec l'interprétation d'un traçage réalisé le 5 février 1991 (SOMMERIA L., 1991) à l'aide d'une masse de 4 kg d'uranine dont l'injection, suivie d'une chasse de 50 m³ d'eau, était réputée, d'après le rapport, avoir été effectuée dans l'aven de Montaliès et qui aurait donné lieu à une restitution à l'exutoire de Bastide, à l'exclusion des

autres points surveillés. En fait, le point indiqué sur la planche du rapport (carte de localisation des points d'injection et de restitution des traceurs) correspond exactement à la perte des Pradels. Il apparaît donc une confusion dans l'identification du point d'injection dont la localisation semble, elle, bien établie. Il y a donc lieu de s'interroger sur la contradiction révélée par les résultats du présent traçage avec ceux du traçage du 5 février 1991. Comparons (cf. tableau) les principaux éléments discordants appelant une analyse critique :

	Traçage du 5 février 1991	Traçage du 18 novembre 2002
Lieu de restitution	Source de Bastide (source de la Verlenque non surveillée)	Source de la Verlenque (pas de restitution constatée à la source de Bastide)
Nature et masse de traceur injectée	Uranine (4000 g)	Eosine (50g)
Méthode de détection et de mesure du traceur	Spectrofluorimétrie	Spectrofluorimétrie
Proportion de traceur restituée	1%	42,1%
Concentration maximale observée	1,4 ng/ml	1,24 ng/ml
Nombre d'échantillons fondant la restitution	4	109 sur 133 échantillons
Identification spectrale du traceur	Non	Oui (réalisée sur 21 échantillons)

Tableau : Comparaison des principaux éléments sources de discordance entre les résultats des deux traçages réalisés à partir de la perte des Pradels.

Il apparaît tout d'abord que la présence d'uranine à l'exutoire de Bastide n'a pas été confirmée par la réalisation de spectres d'excitation et d'émission (identification spectrale) qui, seule, permet d'énoncer un diagnostic de présence ou d'absence d'un traceur en solution. En effet, l'effet de la composante de lumière diffusée par d'éventuelles particules en suspension ou de la composante de lumière émise par fluorescence de substances organiques naturelles mimant parfaitement une restitution de traceur ne peut être décelé qu'à partir de l'examen des spectres.

D'autre part, outre le très faible nombre d'échantillons sur lequel se fonde le diagnostic de restitution établi lors du traçage du 5 février 1991, la très faible concentration maximale observée dans ce cas pour une masse de traceur injectée de 4000 g et son identité avec celle du traçage du 18 novembre pour une masse d'éosine injectée 80 fois plus faible font peser un doute sur le bien-fondé de ce diagnostic.

Enfin, la probable restitution de l'uranine à la source de la Verlenque, non surveillée, ne pouvait, dans les conditions de l'expérience, être mise en évidence par la surveillance du ruisseau du Verlenque puisque celui-ci ne faisait l'objet de prélèvements qu'à hauteur de la grotte des Trois-Tunnels, soit 750 m environ en amont de la source.

4.6.2.3 Conclusion

En conclusion, il apparaît que le diagnostic de restitution à l'exutoire de Bastide établi à la suite du traçage du 5 février 1991 n'est pas fiable et qu'il convient de retenir les résultats du présent traçage comme présentant les meilleures garanties de fiabilité. Cette conclusion n'exclut pas l'éventualité d'une restitution très limitée de traceur à cet exutoire à partir d'un traçage réalisé à partir de la perte des Pradels (restitution qui pourrait ne pas avoir été décelée à l'occasion du traçage du 18 novembre en raison de la faible masse de traceur injectée ou parce qu'elle ne se produirait que pour des valeurs de débit supérieures à celles qui régnaient lors de l'injection et du début du transit du traceur). Mais une telle restitution demanderait à être confirmée par la réalisation d'un nouveau traçage mettant en œuvre une masse de traceur plus élevée que celle injectée le 18 novembre 2002 et une procédure d'échantillonnage et d'analyse conforme aux standards de qualité et de fiabilité actuellement définis pour ce type d'opération.

4.6.3 Traçage de la perte des Sâgnes (traçage 12-4 Aveyron)

Pour la même raison que celle exposée au § 2, une faible masse de sulforhodamine G (50 g) a été injectée dans la perte des Sâgnes dont le débit de 1,3 l/s était très suffisant pour entraîner naturellement le traceur. Les précipitations survenues deux jours après l'injection ont facilité le transit du traceur qui a réapparu exclusivement à l'exutoire de Rouveyrol, dans la vallée du Tarn, démontrant ainsi que la limite entre ce système karstique et celui de la source de la Verlenque, drainé vers le ruisseau du même nom, se situait entre la perte des Pradels et celle des Sâgnes.

4.6.3.1 Discussion

Les résultats de ce traçage sont contradictoires avec ceux d'un traçage réalisé le 29 janvier 1971 (POMMIE J., 1983) à l'aide de 1000 g d'uranine, qui aurait donné lieu à une restitution à l'exutoire de Bastide. La surveillance, exercée à l'aide de fluocapteurs, semble n'avoir concerné que les émergences de la vallée du Verlenque et de l'Aveyron qu'« alimentent, selon toute vraisemblance, les eaux englouties à la perte » selon l'auteur. L'examen des fluocapteurs aurait révélé une restitution fractionnée, survenant d'abord entre le 29 janvier et le 5 février comme l'auraient indiqué les fluocapteurs fortement positifs relevés ce jour, s'interrompant au moins jusqu'au 11 février (fluocapteurs négatifs), puis reprenant entre le 11 février et la mi-mars.

La même réflexion critique que celle qui a concerné les résultats du traçage de la perte des Pradels du 5 février 1991 doit être menée à propos de ceux du traçage du 29 janvier 1971 à la perte des Sâgnes. Tout d'abord, ce traçage justifie la même réserve préalable concernant l'absence d'identification spectrale du traceur. Cette réserve est d'autant plus fondée que les éluats de fluocapteurs contiennent, outre les réactifs utilisés pour l'éluion, un mélange concentré des nombreuses substances organiques naturelles ou introduites et diversement colorées, adsorbées sur le charbon actif, qui ôtent toute crédibilité à un diagnostic posé sur leur seul examen visuel. En outre, cette complexité rend l'analyse spectrofluorimétrique très difficile et l'interprétation des spectres d'excitation et d'émission très hasardeuse dans de nombreux cas.

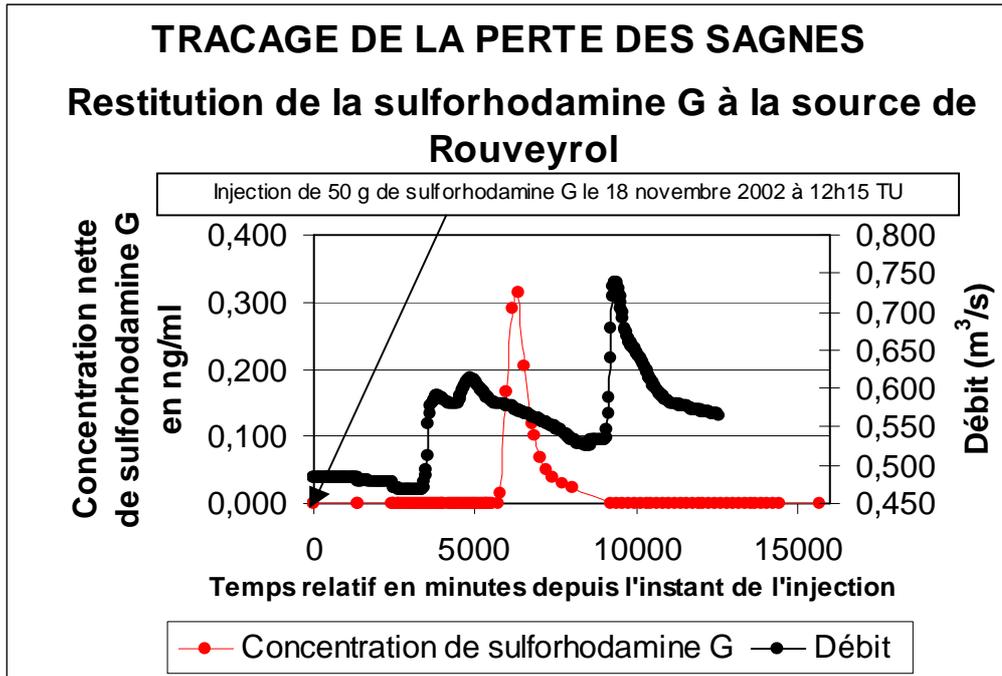


Figure 113 : Traçage de la perte des Sâgnes . Restitution de la sulforhodamine G à la source de Rouveyrol.

Il convient également de signaler l'in vraisemblance de la raison invoquée pour rendre compte du fractionnement de la restitution qui aurait été observé, à savoir le blocage d'une fraction du traceur par le froid qui s'est abattu sur la région dans la nuit du 29 au 30 janvier alors que le débit de la perte, de 10 l/s au moment de l'injection, avait pu se maintenir à une valeur proche de cette dernière pendant plusieurs heures avant l'arrivée du froid et provoquer l'entraînement du traceur en moins de vingt minutes.

4.6.3.2 Conclusion

Le diagnostic établi à la suite du traçage du 29 janvier 1971 à partir de la perte des Sâgnes et figuré sur les cartes géologiques à 1/50 000 Sévérac-le-Château et Saint-Beuzély n'est pas fiable et il convient de retenir les résultats du présent traçage comme présentant les meilleures garanties de fiabilité. Cette conclusion n'exclut pas, cette fois encore, l'éventualité d'une restitution de traceur à l'exutoire de Bastide à partir d'un traçage réalisé à partir de la perte des Sâgnes (restitution qui pourrait ne pas avoir été décelée à l'occasion du traçage du 18 novembre en raison de la faible masse de traceur injectée ou parce qu'elle ne se produirait que pour des valeurs de débit supérieures à celles qui régnaient lors de l'injection et du début du transit du traceur). Une telle restitution mettrait alors en évidence un phénomène de diffluence dont la réalisation est tout à fait envisageable en conditions de moyennes à hautes eaux dans une zone de limite entre deux systèmes karstiques. Mais une telle restitution demanderait à être confirmée par la réalisation d'un nouveau traçage mettant en œuvre une masse de traceur plus élevée que celle injectée le 18 novembre 2002, dans des conditions hydrologiques de moyennes à hautes eaux, et une procédure d'échantillonnage et d'analyse conforme aux standards de qualité et de fiabilité actuellement définis pour ce type d'opération.

4.6.4 Traçage de la perte du Soucis (traçage 12-5 Aveyron)

La masse d'uranine injectée, 500 g, a été fixée en tenant compte de la gamme des débits fréquemment observés à l'exutoire de Rouveyrol, non capté pour la production d'eau potable, où la probabilité de restitution du traceur paraissait assez élevée puisqu'un traçage réalisé le 7 juin 1971 à l'aide de 2000 g d'uranine y avait entraîné une restitution visible à l'œil nu.

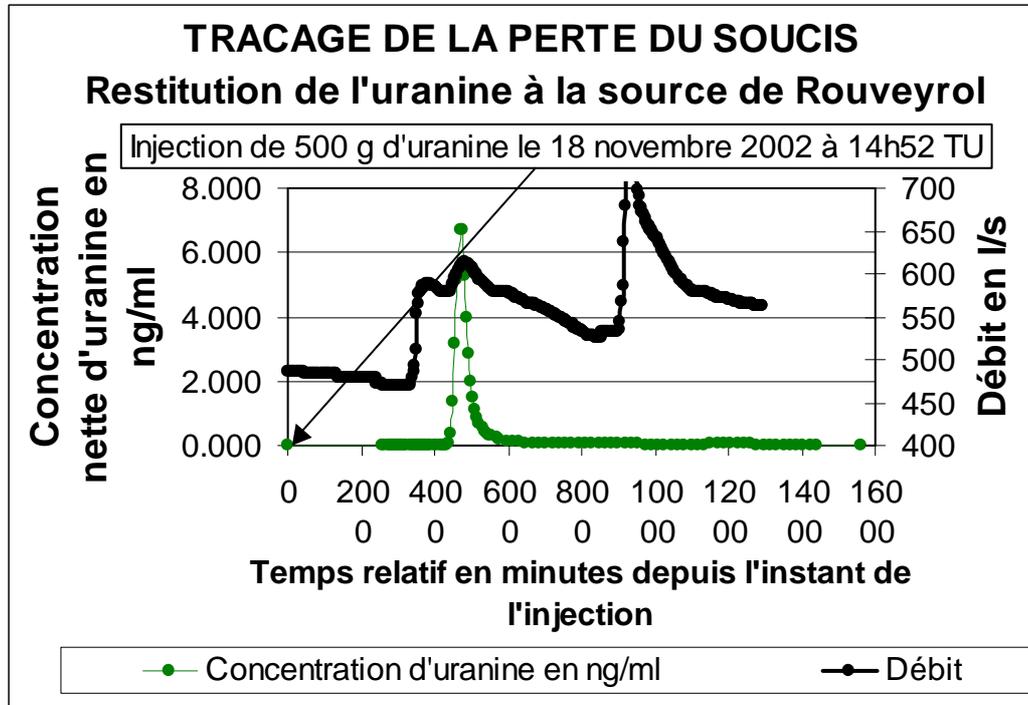


Figure 114 : Traçage de la perte du Soucis. Restitution de l'uranine à la source de Rouveyrol.

La restitution du traceur est intervenue exclusivement à l'exutoire de Rouveyrol, confirmant les résultats des traçages qualitatifs antérieurs (POMMIE J., 1983), mais infirmant le résultat d'un traçage réalisé le 16 avril 1968 qui aurait donné lieu à une restitution à la source de l'Aveyron, indiquée sur les cartes géologiques à 1/50 000 Sévérac-le-Château (ALABOUVETTE B. et al., 1990., PALOC H., 1990) et Saint-Beauzély (MENNESSIER G., COLLOMB P., 1986 ; ASTRUC J.-G., ROCHE J., 1986).

4.6.5 Traçage de la doline du serre des Grèzes (traçage 12-6 Aveyron)

Le traçage du Serre des Grèzes n'a pas été réalisé à partir du point d'injection initialement prévu, l'aven du Serre des Grèzes (coordonnées Lambert zone II étendue x = 0661,725 ; y = 1922,036 ; z = 800 m), en raison de l'indisponibilité de la personne qui aurait dû nous indiquer sa situation lors de la mission de reconnaissance effectuée sur le terrain le 29 octobre 2002 en compagnie de L. Danneville et Alexis Robert, mais à partir d'un effondrement ayant servi de dépotoir, au point de coordonnées Lambert zone II étendue x = 0661,695 ; y = 1921,985 ; z = 815 m.,. L'emploi de l'uranine pour le traçage de la perte du Soucis, de la sulforhodamine G pour celui de la perte des Sâgnes et de l'éosine pour celui de la perte des Pradels réduisait le choix du quatrième traceur à un azurant optique dont les longueurs d'onde

d'excitation et d'émission soient suffisamment éloignées de celle de l'uranine pour permettre sa distinction nette en spectrofluorimétrie. L'aminog acide a été utilisée pour ce traçage. Comme pour les traçages des pertes des Pradels et des Sâgnes, l'éventualité d'une restitution du traceur à la source captée de Cayrac a conduit à limiter la masse injectée à 100 g.

La surveillance exercée pendant 18 jours aux exutoires n'a pas permis de distinguer une éventuelle restitution du traceur des signaux résultant de la diffusion et de la fluorescence résultant respectivement de la turbidité assez élevée (notamment aux exutoires de la Muraillasse, de la Verlenque, de Bastide et de l'Aveyron) et des variations de concentration de la matière organique naturelle qui ont accompagné les différentes crues survenues au cours de cette période.

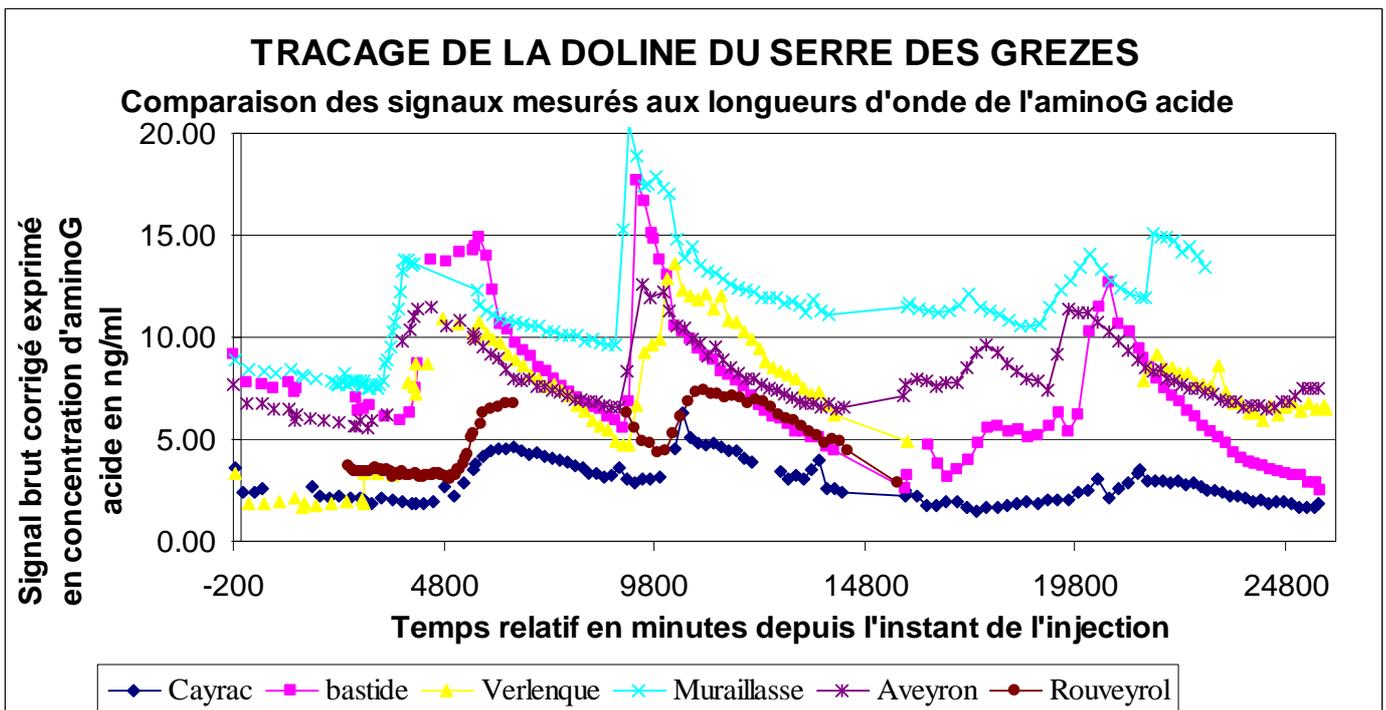


Figure 115 : Traçage de la doline du Serre des Grèzes . Comparaison des signaux observés aux différents exutoires surveillés.

La masse de traceur injectée (100 g) s'est avérée beaucoup trop faible compte tenu des signaux résultant de ces causes, les valeurs de longueurs d'onde d'excitation et d'émission de l'aminog acide se situant dans le domaine de fluorescence de nombreux constituants de la matrice organique naturelle des eaux souterraines.

4.6.6 Traçage de la perte des Sagnes (traçage 12-7 Aveyron)

L'objectif de ce traçage était de confirmer la restitution obtenue à l'exutoire de Rouveyrol lors du traçage précédent (traçage 12-4 Aveyron) par injection d'une masse très faible (50 g) de sulforhodamine G. Une masse d'uranine de 500 g injectée en période de basses eaux a donné lieu à une restitution bimodale à l'exutoire de Rouveyrol, probablement à la suite de la petite crue survenue le lendemain de l'injection : l'apport d'eau à la perte du Soucis pourrait avoir localement dilué le volume d'eau tracé en cours de transit vers l'exutoire et fractionné ce dernier en deux parties.

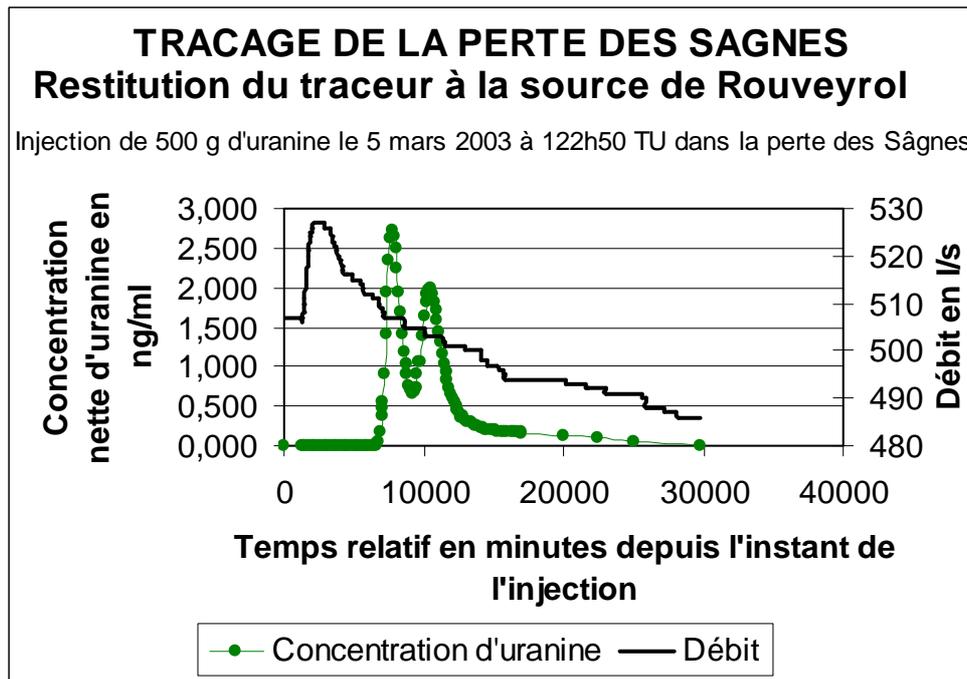


Figure 116 : Traçage de la perte des Sagnes . Restitution de l'uranine à l'exutoire de Rouveyrol.

4.6.7 Traçage de l'aven du col de la Fagette (traçage 12-8 Aveyron)

L'objectif de ce traçage, réalisé à partir du point d'injection le plus au nord de ceux concernés par la campagne de traçage d'avril 2003, était de préciser la situation de la limite entre le système karstique de Roquaizou, drainé vers la vallée du Lot, et celui de Beldoire, drainé vers la vallée du Lot. La masse relativement modeste de sulforhodamine G injectée (500 g) a donné lieu à une restitution à l'exutoire de Beldoire, à l'exclusion des autres exutoires surveillés (Roquaizou, Serre, Fontmaure, Pas-de-Soucy (surveillé tardivement, à partir du 28 mai), Rouveyrol). Le traceur a transité vers l'exutoire de Beldoire, en conditions de basses eaux, à la vitesse apparente assez élevée de 45 m/h, ce qui indique qu'il a vraisemblablement rejoint assez rapidement un drain principal bien fonctionnel malgré le déficit hydrique régnant au moment de l'expérience.

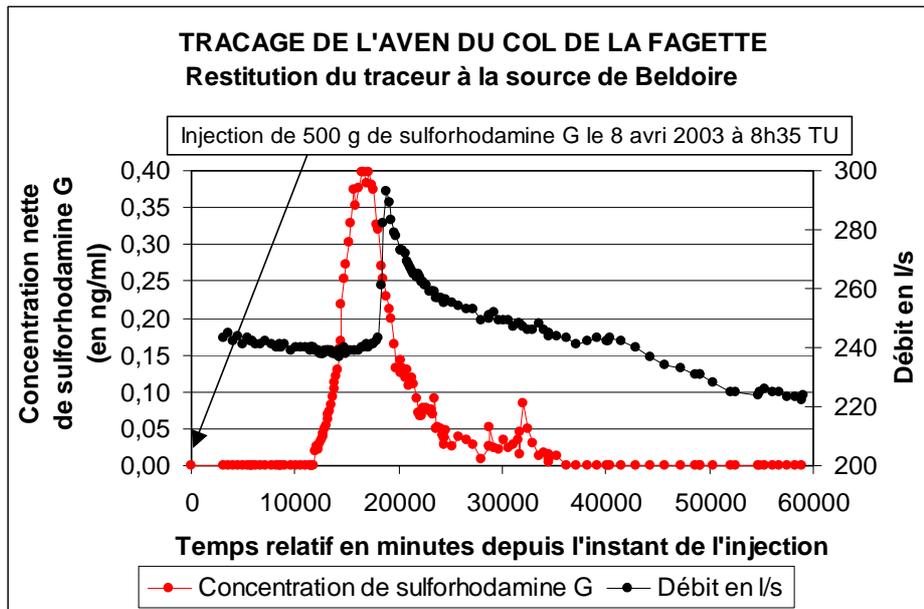


Figure 117 : Traçage de l'aven du col de la Fagette . Restitution de la sulforhodamine G à l'exutoire de Beldoire.

4.6.8 Traçages de l'aven du clos Pouchut (traçage 12-9 Aveyron), de l'aven de Combelongue (traçage 12-10 Aveyron) et de l'effluent de Bonsecours (traçage 12-11 Aveyron)

Aucun des traceurs mis en oeuvre n'a été détecté aux exutoires surveillés (les mêmes que pour le traçage de l'aven du col de la Fagette), en dépit d'une surveillance qui a été assurée pendant plusieurs mois aux exutoires de Serre (jusqu'au 29 juillet 2003) et de Roquaizou ((jusqu'au 24 août 2003) et même jusqu'au 18 novembre 2003 à l'exutoire de Beldoire. Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer cette absence de détection :

- Tout d'abord des conditions géologiques d'injection défavorables à un transit facile dans la zone non saturée malgré les apports artificiels d'eau destinés à entraîner les traceurs : les injections de Pyranine dans l'aven du Clos Pouchut et de bromure de sodium dans celui de Combelongue ont été réalisées dans des cavités de faible développement vertical et présentant des indices de colmatage par les colluvions souterraines argileuses et argilo-sableuses résultant de l'érosion des altérites tertiaires recouvrant le calcaire du Bathonien, colmatage qui peut avoir été à l'origine d'une forte rétention du traceur par capillarité, par adsorption, et de la dispersion du volume d'eau tracé en raison des pertes de charge qu'il impose au ruissellement de l'eau gravitaire. Quant à l'injection d'acide aminé, elle a été réalisée dans des conditions (toilettes d'un restaurant) interdisant l'accès à toute information sur le transit du traceur entre ce point et l'entrée dans l'aquifère ;
- Ensuite, des conditions climatiques particulièrement défavorables au transit dans la zone non saturée, les injections étant intervenues au cours d'une longue période de tarissement qui s'est poursuivie jusqu'au 18 novembre 2003 ;

- Enfin, l'utilisation, pour des raisons budgétaires, de masses de traceurs vraisemblablement trop faibles compte tenu d'une part des conditions géologiques et climatiques dans lesquelles les opérations ont été réalisées qui ne favorisaient pas leur transit vers un drain fonctionnel, et d'autre part de possibles mauvaises liaisons hydrauliques entre les points d'injection et ce dernier, responsables d'un fort étalement d'une restitution qui serait intervenue à des concentrations non détectables, notamment pour ce qui concerne le bromure et l'aminoglycine, ce dernier présentant en outre une forte interférence de fluorescence avec la matière organique naturelle

L'absence de détection constatée ne signifie pas une absence de relation entre les points d'injection et les exutoires, mais traduit l'impossibilité de la mettre en évidence dans les conditions où ont été réalisées les expériences. Elle suggère la répétition de ces expériences dans des conditions climatiques et hydrologiques plus favorables et faisant appel à des traceurs présentant moins d'interférences avec la matière organique naturelle et offrant un seuil de détection plus faible (uranine, sulforhodamine G).

4.6.9 Traçage de l'effluent de la station d'épuration du Massegros (traçage 48-1 Lozère)

L'objectif de ce traçage était de confirmer la relation fortement subodorée depuis 1982 entre la doline réceptacle de l'effluent et l'exutoire de Rouveyrol suite au constat visuel de la réapparition à ce dernier des effluents de la laiterie –fromagerie du Massegros qui y étaient directement déversés avant la mise en route de la station d'épuration. La vraisemblance de cette relation était en outre renforcée par les résultats d'un traçage qualitatif antérieur (ROUQUET J. (1976) réalisé à partir de l'aven-perte du Massegros situé à 800 m au nord-ouest de la station. Il était également nécessaire d'évaluer les paramètres du transit, ce que le traçage qualitatif antérieur n'avait permis de faire que très sommairement.

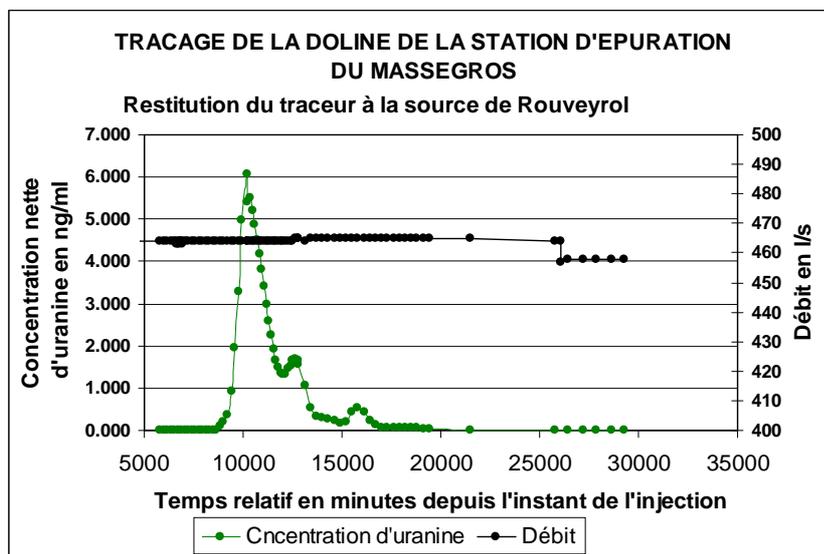


Figure 118 : Traçage de l'effluent de la station d'épuration du Massegros. Restitution de l'uranine à l'exutoire de Rouveyrol.

La restitution observée à l'exutoire de Rouveyrol traduit un transit très facile compte tenu des conditions climatiques de l'expérience. L'aspect polymodal de la courbe de concentration et

de la D.T.S. (le débit ayant très peu varié pendant le transit et la restitution) résulte de la périodicité du débit de l'effluent entraînant une modulation du signal d'urinine qui reste décelable à l'exutoire. Cette modulation est comparable à celle de la concentration de chlorure, élément apporté en quantités très significatives par l'effluent de la station d'épuration.

4.6.10 Traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès (urinine, traçage 12-12 Aveyron)

La fontaine de Montaliès sort d'un filon de microgranite qui draine les grès arkosiques du Stéphaniens qu'il recoupe. Le très faible débit issu de cette fontaine alimente un ruisseau qui se perd quelques dizaines de mètres plus bas sur le tracé d'un accident annexe de la faille des Palanges. Cet accident met en contact les arkoses stéphaniennes de son compartiment sud avec un petit compartiment en forme de coin, sans affleurement, mais donnant lieu à une zone marécageuse et identifié sur la carte géologique à 1/50 000 Saint-Beauzély comme constitué de marnes feuilletées du Toarcien supérieur – Aalénien inférieur. Plus bas, cet accident conflue avec la faille des Palanges qui met en contact les arkoses puis les pélites lie-de-vin du Saxonien avec les calcaires du Bathonien inférieur de son compartiment nord. A l'intersection de la faille avec la vallée du Verlenque, en rive droite du ruisseau, se situe une petite source, la source de Murailasse, dont le débit peut devenir très faible en période de sécheresse (0,25 l/s en juillet 2003). Dans les calcaires du compartiment nord de la faille, une importante cavité karstique (développement : 745 m pour une dénivellation totale de 62 m (+ 16 m ; - 46 m), l'aven-grotte de Montaliès, témoigne de l'intense karstification qui a résulté des pertes des écoulements superficiels issus du compartiment sud de la faille des Palanges dans les calcaires du compartiment nord. Le 7 avril 1971 (POMMIE J., 1983), l'injection de 1000 g d'urinine dans le ruisseau qui se perdait à - 46 m donnait lieu, 12 heures plus tard, à une restitution massive à l'exutoire de Murailasse favorisée par de fortes précipitations et qui devait se poursuivre, visible à l'œil nu, pendant 5 jours.

Le traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès avait pour but de vérifier la contribution de la perte au système karstique de la Murailasse, d'évaluer les paramètres du transit, et de comparer ces derniers avec ceux de l'aminoG acide injecté simultanément (traçage 12-13 Aveyron).

La restitution de l'urinine a débuté 7,5 jours après l'injection, à l'exutoire de la Murailasse, et s'est poursuivie pendant près de 36 jours. Les autres points surveillés (source du grand virage de la N9, source de l'aire de repos aménagée au débouché du talweg du ruisseau de la fontaine de Montaliès et source de la Verlenque) n'ont montré aucune présence d'urinine. La durée de la restitution, la faible concentration maximale observée (0,2 ng/ml) et le très faible taux de restitution révèlent un transit difficile, en raison d'une part du faible débit qui a parcouru le système traçage pendant l'expérience, et probablement aussi d'autre part de la lithologie des formations aquifères avec lesquelles le traceur s'est trouvé en contact, et notamment les formations à porosité d'interstices qui ont pu contribuer à une forte rétention de ce dernier. Ce résultat est cohérent avec celui du traçage du 7 avril 1971 qui avait donné lieu à une restitution visible à l'œil nu pendant plusieurs jours alors que les conditions hydrologiques étaient beaucoup plus favorables au transit du traceur que lors du présent traçage.

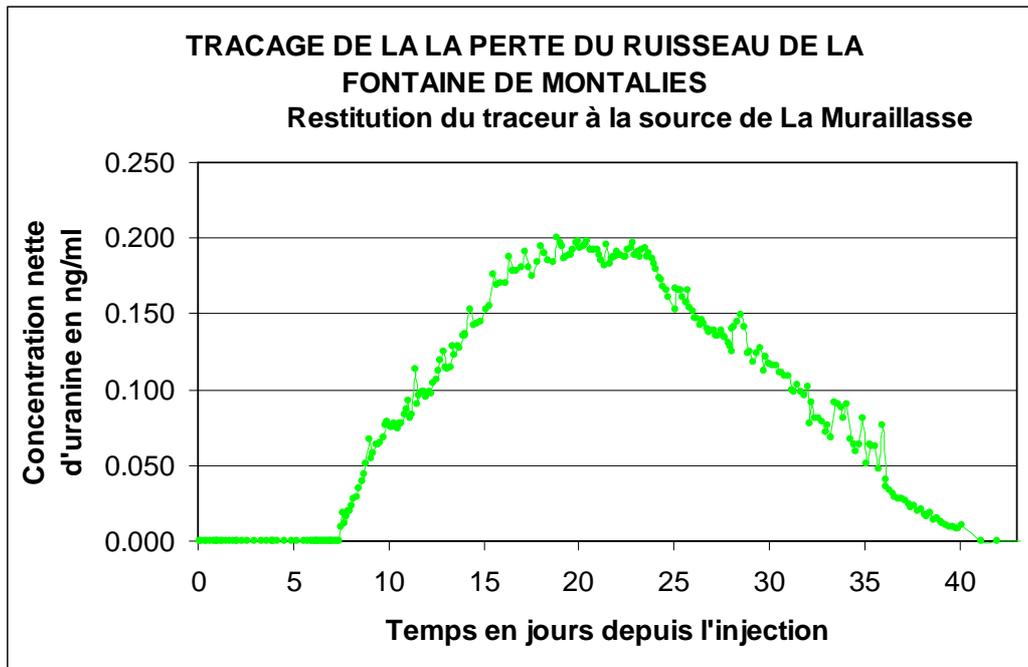


Figure 119 : Traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès. Restitution de l'uranine à l'exutoire de la Muraille.

4.6.11 Traçage de la perte du ruisseau de la fontaine de Montaliès (aminog acide, traçage 12-13 Aveyron)

L'objectif de ce traçage, réalisé simultanément avec le précédent à l'aide d'une masse d'aminog acide identique à celle de l'uranine (10 g) et à partir du même point d'injection, était de comparer les caractéristiques du transit des deux traceurs intervenu dans des conditions hydrologiques identiques.

Le signal de fluorescence de l'aminog acide n'a pu être distingué du signal naturel assez élevé et de ses variations (3 à 4 ng/ml mesuré aux longueurs d'onde d'excitation et d'émission de ce traceur). La très faible concentration d'uranine observée lors de la restitution à la source de la Muraille, 0,2 ng/ml, permet d'expliquer l'absence de constat de restitution. Une conclusion peut cependant être tirée de cette expérience concernant le bilan de restitution de l'aminog acide qui ne semble pas avoir été sensiblement plus élevé que celui de l'uranine.

4.6.12 Traçage de la perte du Verlenque en aval de la source de la muraille (traçage 12-15 Aveyron)

A partir du mois de juillet 2003, le ruisseau du Verlenque se perdait en totalité dans la traversée du défilé creusé dans les calcaires du Bathonien inférieur, en aval de la source de la Muraille. Le ruisseau redevenait faiblement fonctionnel ($Q < 5$ l/s le 5 août 2003) 1000 m en aval, à la faveur d'une petite source située dans le lit même du ruisseau, la source dite « de la Verlenque amont » pour s'assécher à nouveau quelques mètres en aval. Ce n'est qu'à partir de la source de la Verlenque, située 200 m en aval, que le ruisseau redevenait définitivement fonctionnel.

L'objectif de ce traçage était double : connaître la destination des eaux perdues par le ruisseau du Verlenque en aval de la Muraille d'une part et estimer leur contribution au débit du ou des exutoires où le traceur réapparaîtrait d'autre part. Dans ce but, une injection

continue d'éosine gamma a été réalisée dans le ruisseau du Verlenque au niveau de la source de la Muraille.

Après une première phase d'injection à débit faible qui a entraîné dans le ruisseau un premier pic modéré (1 445 ng/ml) suivi d'un palier stabilisé à une valeur proche de 500 ng/ml pendant 1000 minutes, l'augmentation du débit d'injection a été suivie d'un pic beaucoup plus intense (24 050 ng/ml) qui s'est étendu sur 500 minutes.

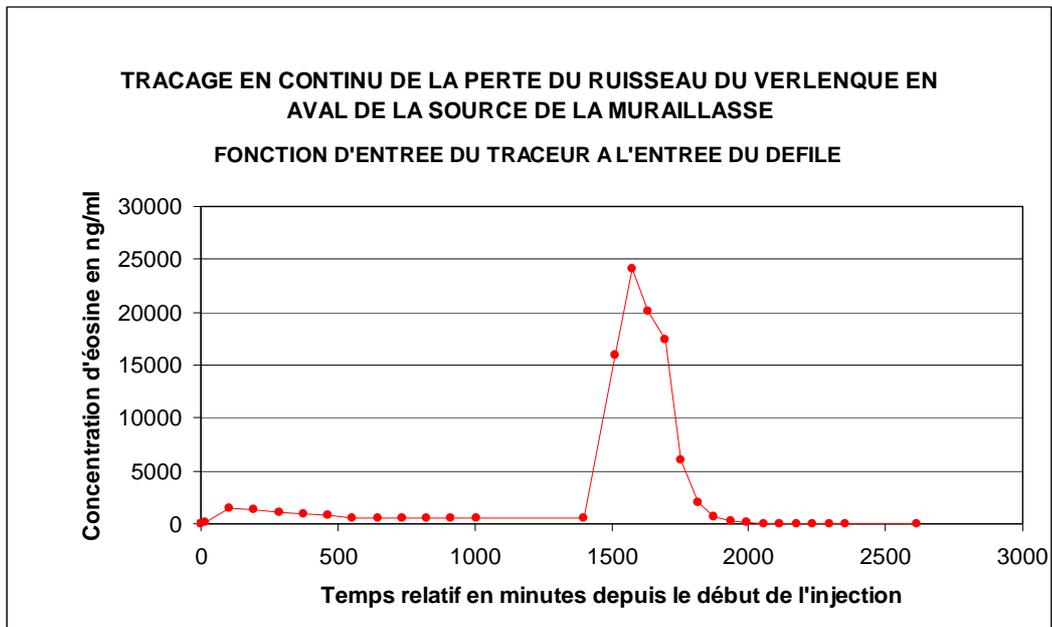


Figure 120 : Traçage de la perte du ruisseau du Verlenque en aval de la source de la Muraille. Fonction d'entrée du traceur.

La restitution du traceur n'a été constatée qu'à la source de la Verlenque amont, 3,5 jours environ après le début de l'injection. La surveillance exercée à l'exutoire de la Verlenque pendant près de 24 jours et deux prélèvements manuels effectués à l'exutoire de Bastide dans les 5 jours suivant le début de l'injection ont permis de vérifier l'absence de traceur à ces exutoires.

Malgré l'absence, sur la courbe de concentration obtenue à la source amont de la Verlenque, d'un véritable palier qui aurait seul permis une évaluation rigoureuse de la contribution des eaux perdues par le ruisseau du Verlenque au débit de cette source, et la difficulté de retrouver dans cette courbe les composantes de la fonction d'entrée, une estimation de cette contribution a néanmoins été réalisée (BAILLY-CONTE V., 2003) en acceptant l'hypothèse que la première partie de la courbe de concentration, la plus faiblement pentue, résultait de la transformation du palier de la fonction d'entrée par la fonction de transfert du système traçage. Cette démarche conduit à estimer à 0,05 % la contribution du débit perdu à celui de la réapparition temporaire constitué par la source amont de la Verlenque. Cette valeur est confirmée par celle de la masse de traceur qui a été restituée à cette source pendant les 20 jours de surveillance : pour un débit de 5 l/s, valeur surestimée, la masse n'est que de 1 g.

Ces données conduisent à interpréter la source amont de la Verlenque comme un regard très partiel sur un système traçage qui comporte nécessairement un ou plusieurs autres exutoires qui ne sont ni la source de la Verlenque, ni celle de Bastide comme ont permis de le vérifier des prélèvements effectués pendant tout le mois d'août. Le problème de la situation de l'exutoire se trouve donc posé. BAILLY-CONTE (2003) rappelle qu'un traçage de la perte du Verlenque en aval de la Murailasse réalisé le 4 novembre 1973 (ROUQUET J., 1976) dans des conditions hydrologiques de basses eaux (débit du ruisseau du Verlenque : 5 l/s) aurait donné lieu à une restitution à la résurgence de la grotte des Trois-Tunnels, située en rive gauche du ruisseau, 600 m en aval de la perte. N'ayant pu consulter la publication originale de ce traçage, nous ignorons les moyens mis en œuvre pour la recherche et la détection du traceur et par conséquent ne pouvons émettre aucun avis sur la fiabilité de ce résultat. Lors du présent traçage, l'exutoire dont le débit peut, selon POMMIE J. (1983), atteindre un m³/s en période de crue, était asséché. Ce dernier paraît donc assurer un rôle de trop-plein à fonctionnement assez fréquent du système karstique concerné par ces expériences, mais certainement pas celui d'exutoire pérenne. J.POMMIE (1983) évoque l'hypothèse de L. ROUQUET (1976) selon laquelle la source de Cayrac, située dans la vallée de l'Aveyron, pourrait constituer l'exutoire de ce système karstique qui comporterait un karst noyé étendu. Cette hypothèse, non vérifiée à ce jour par traçage, suppose l'existence d'un axe de drainage dont l'orientation recouperait celle de la relation, démontrée elle, entre la perte des Pradels et la source de la Verlenque et probablement aussi celle de l'axe de drainage du système qui doit alimenter la source de Bastide. Elle se heurte donc à une logique d'organisation des écoulements dont l'exhaure est orientée vers la vallée du Verlenque et non vers celle de l'Aveyron. Il convient d'ajouter qu'un phénomène analogue à celui observé à l'entrée du cours « calcaire » du ruisseau du Verlenque se produit dans la partie aval du cours du Verlencuze, affluent de rive gauche du ruisseau du Verlenque : début juin 2004, le ruisseau se perdait presque totalement dans les calcaires à rhynchonelles de l'Aalénien qui affleurent longuement dans le lit du ruisseau (et non représentés sur la carte géologique à 1/50 000), avant de réapparaître quelques centaines de mètres avant la confluence avec le ruisseau du Verlenque. Il n'est pas exclu que les eaux perdues par le ruisseau du Verlenque connaissent une destinée comparable en réapparaissant dans le lit du ruisseau, en aval de la perte qui succède à la source de la Verlenque amont. L'existence d'un système karstique alimenté par les pertes du ruisseau du Verlenque et de ses affluents et dont la zone saturée établie sous le ruisseau du Verlenque et son affluent le Verlencuze favorise la dilution du traceur apparaît ainsi évidente. Mais cette existence ne justifie pas nécessairement le recours à celle d'un exutoire éloigné pour rendre compte de son drainage : la grotte des Trois-Tunnels assume parfaitement ce rôle en période de moyennes à hautes eaux. D'autre part, un critère de qualité des eaux, la turbidité, toujours faible à l'exutoire de Cayrac, ne plaide pas en faveur de l'hypothèse d'un rôle joué par cette source dans le drainage de ce système. En effet, en période de crue, l'exutoire des Trois-Tunnels évacue un important débit solide dont la couleur rougeâtre ne laisse planer aucun doute sur son origine : il s'agit de particules terrigènes arrachées aux sédiments permien par les affluents du ruisseau du Verlenque dans la partie de leur cours située en amont de la faille des Palanges. Pour conclure, il conviendrait, pour apporter de l'information nouvelle sur le drainage de ce système, de réaliser un traçage de la perte du ruisseau du Verlenque en période de très basses eaux en surveillant la source de la Verlenque amont et un point situé en aval de la limite d'affleurement des calcaires aaléniens, quelques centaines de mètres en aval de la source de Bastide ainsi qu'une série de jaugeages et de prélèvements du ruisseau destinée à repérer les éventuelles émergences en aval de la source de la Verlenque, c'est-à-dire dans la section de son cours où le débit apporté par cette dernière est susceptible de les rendre occultes.

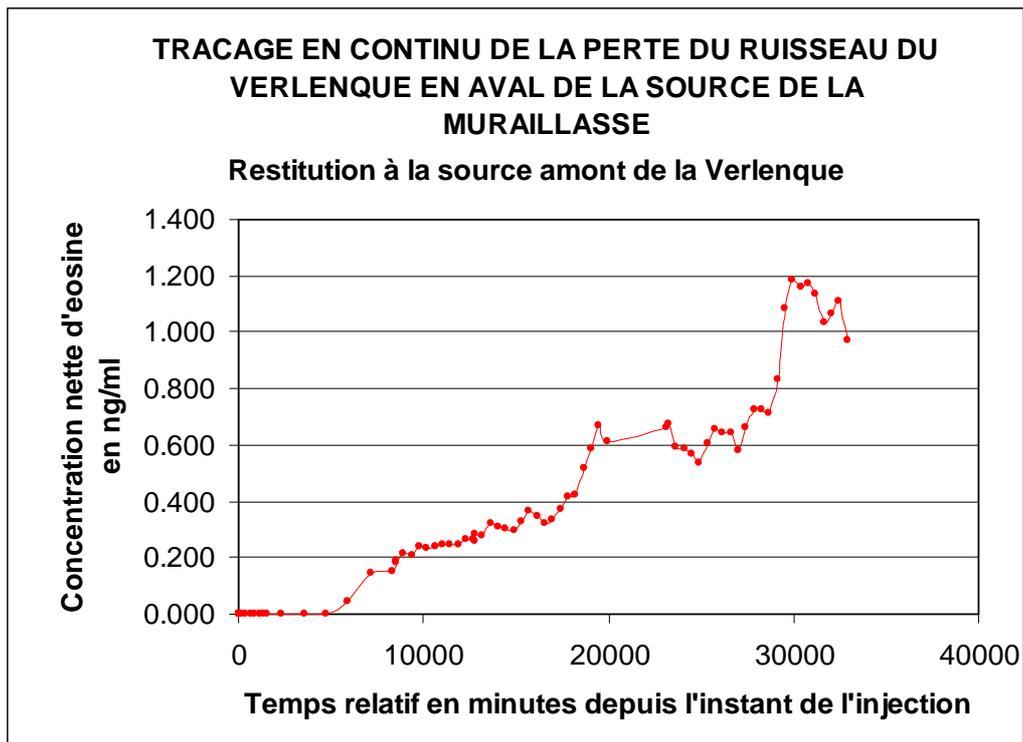


Figure 121 : Traçage de la perte du ruisseau du Verlenque en aval de la source de la Muraillassse. Restitution de l'éosine à l'exutoire de la Source amont de la Verlenque.

4.6.13 Traçage de la perte de la source amont de la Verlenque (traçage 12-14 Aveyron)

L'objectif de ce traçage, réalisé avec une faible masse de traceur (10 g d'acide aminé) était d'éprouver l'hypothèse d'une restitution de l'eau perdue en aval de la source amont de la Verlenque à la source de la Verlenque située 200 m en aval, en rive droite du ruisseau. Aucune restitution de ce traceur n'a été observée à cette source. Compte tenu de l'absence de restitution d'éosine à cette même source lors du traçage de la perte du Verlenque en aval de la Muraillassse (traçage 12-15 AVEYRON, § 12), l'hypothèse d'une restitution vers un exutoire inconnu invoquée par BAILLY-CONTE (2003) paraît la plus plausible.

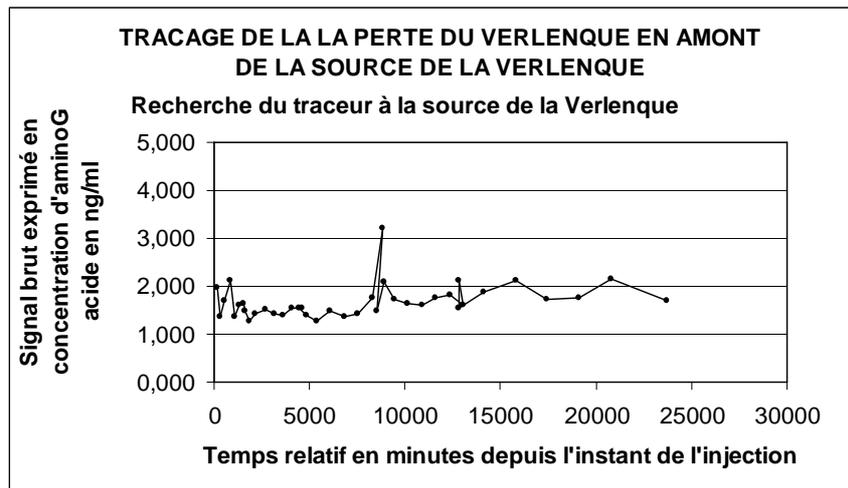


Figure 122 : Traçage de la perte du ruisseau du Verlenque en amont de la source de la Verlenque. Recherche de l'aminog acide à l'exutoire de la Source de la Verlenque.

4.6.14 Traçage de la perte du trou du souci (traçage 12-16 Aveyron)

Le Trou du Souci est la perte d'un bras du ruisseau de Serre dont il se sépare à l'aval de Saint-Martin-de-Lenne. C'est au contact entre les calcaires marneux du Carixien dans lesquels le lit majeur du ruisseau, établi pour l'essentiel dans les marnes du Domérien, et les calcarénites massives du Lotharingien que ce bras se perd au terme d'un cours d'environ quelques centaines de mètres. Cette perte avait déjà fait l'objet d'un traçage le 22 janvier 1995 (SALVAYRE H.) à l'aide de 500 g d'uranine. La restitution constatée visuellement 4 heures après l'injection à la source de Glassac (Les Douzes) avait permis de procéder à une première estimation de la vitesse de transit du traceur (168 m/h). Aucune restitution n'avait été constatée aux deux autres émergences (sources de la Borie et du moulin de Glassac) présentes dans la reculée creusée par le ruisseau de Serre. L'objectif du présent traçage était, d'une part d'obtenir des données quantitatives sur la liaison mise en évidence et de vérifier l'éventualité d'une restitution aux deux autres émergences qui n'avaient pas donné lieu à une restitution constatée visuellement lors du traçage précédent, et d'autre part de préparer des campagnes de multitraçages destinées à évaluer les caractéristiques propres de plusieurs traceurs communément employés lors d'opérations de traçages de circulations souterraines en milieu karstique (MONTETY de V., 2003).

Outre les valeurs des différents paramètres du transit auxquelles il a donné accès et qui révèlent, en particulier, une vitesse apparente (60,4 m/h) presque trois fois plus faible que celle déduite du traçage du 22 janvier 1995, ce traçage a permis de vérifier que seule la source de Glassac (les Douzes) était en relation avec la perte du Trou du Souci comme permettaient de le supposer les résultats de mesures de température et de conductivité électrique effectuées aux différents points (MONTETY de V., 2003).

4.6.15 Traçage de l'aven de l'a75 (traçage 12-21 Aveyron)

Ce traçage était destiné à préciser la limite entre les systèmes karstiques drainant le Causse de Sévérac vers la vallée du Tarn d'une part et les systèmes drainant sa partie ouest vers les vallées du Lot ou de l'Aveyron, à partir d'un point situé au nord immédiat de la faille des Vignes.

Une restitution nette et échantillonnée de manière assez détaillée a été observée à l'exutoire de Beldoire. Une restitution synchrone mais seulement décrite par 3 prélèvements manuels a été observée à l'exutoire temporaire de Fontmaure. Enfin, des signaux faibles et sporadiques apparus à l'exutoire de Ségala beaucoup plus précocement qu'aux exutoires de Beldoire et de Fontmaure, constituent un résultat qui, s'ils étaient confirmés par un nouveau traçage réalisé à l'aide d'une masse de traceur beaucoup plus importante, mettent en évidence une diffluence d'écoulement. Dans l'état actuel des informations disponibles, ce résultat doit être considéré comme douteux.

A l'exutoire de Beldoire, la chronique du signal brut mesuré aux longueurs d'onde de l'uranine montre l'existence d'un pic intense et très fugace survenant deux jours après l'injection. L'examen des spectres d'excitation et d'émission montre l'absence totale d'uranine dans les échantillons concernés (BLONDEL T., HUYNH C., 2004). Suite à une lacune de prélèvement entre le 21 novembre, 9h08 et le 24 novembre, 21h36, le début de la restitution du traceur n'a pu être échantillonné. Le début de la courbe de restitution a donc été extrapolé en adoptant l'hypothèse que la crue survenue le 23 novembre a accéléré la restitution et provoqué l'apparition d'un premier pic détecté à partir des deux premiers prélèvements manuels et des suivants automatiques. La dispersion convective du traceur étant un processus dépendant du temps, il est probable que ce premier pic ait résulté de la diminution brutale du temps de séjour du volume d'eau tracé pendant le transfert de l'onde de crue dans le système karstique. A partir du 30 novembre, la fin de la restitution a dû également être extrapolée suite à la très forte crue du Tarn qui a emporté le préleveur automatique. On notera que les crues survenues à partir du 1^{er} décembre ont à leur tour entraîné une augmentation certes faible, mais nettement décelable, de la concentration d'uranine.

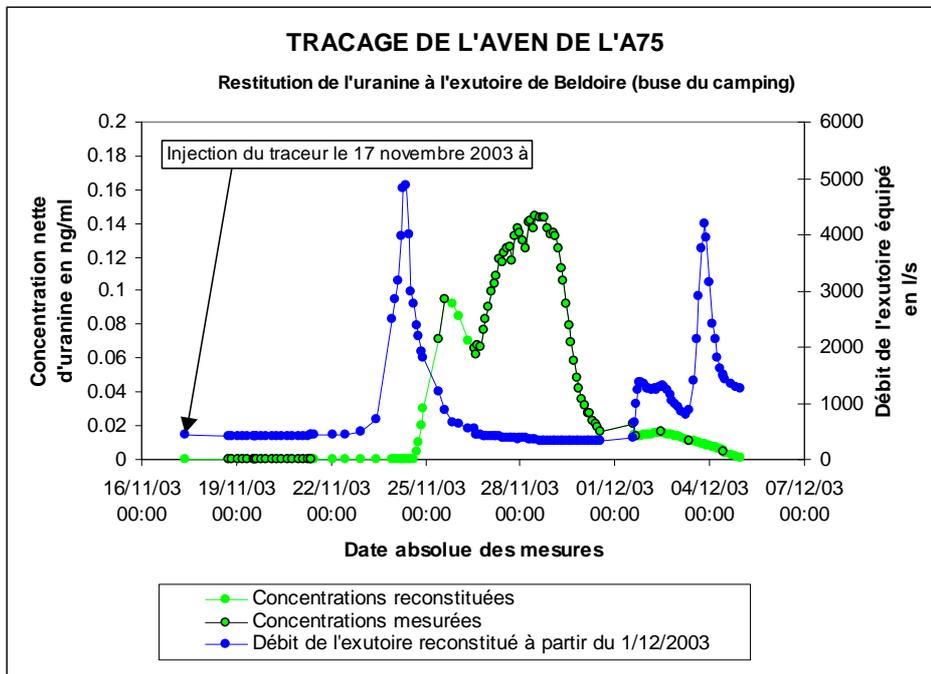


Figure 123 : Traçage de l'aven de l'A75. Restitution de l'uranine à l'exutoire de Beldoire.

La restitution observée à Fontmaure montre que cette émergence fonctionne en exutoire temporaire du système de Beldoire. La concentration du même ordre de grandeur que celle

observée à l'exutoire de Beldoire et le caractère synchrone des deux restitutions indiquent une certaine homogénéité des concentrations au niveau de la zone d'exhaure en période de crue et une relation hydraulique facile avec les exutoires pérennes de Beldoire.

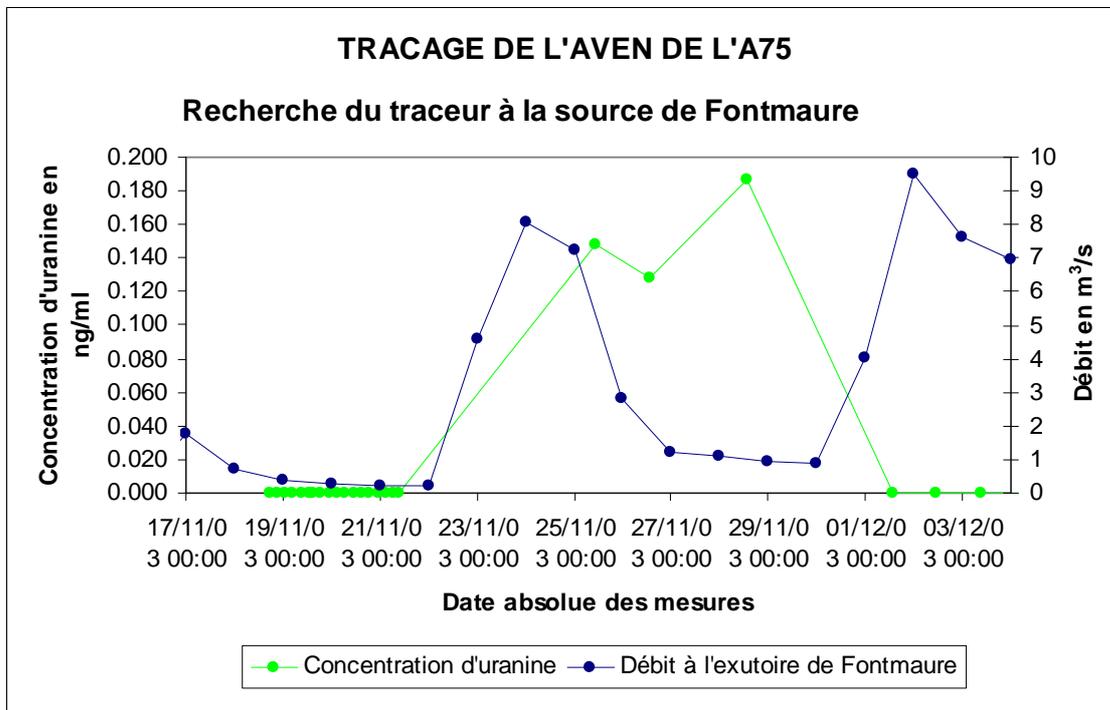


Figure 124 : Traçage de l'aven de l'A75. Restitution de l'uranine à l'exutoire de Fontmaure.

La présence d'uranine dans certains échantillons prélevés à la source de Ségala ne résulte pas d'une pollution du matériel de prélèvement : les échantillons positifs proviennent aussi bien de prélèvements automatiques que de prélèvements manuels. Si la première manifestation de ces signaux, apparue 3 jours après l'injection, en phase de décrue d'une crue survenue à l'exutoire de Ségala la veille de l'injection, peut trouver une interprétation dans l'existence d'une diffluence résultant de la réactivation, en période de moyennes eaux, de drains établis dans une partie de l'aquifère appartenant anciennement au système de Ségala et maintenant incluse dans celui de Beldoire-Fontmaure suite à l'abaissement du niveau de base imposé par la ligne d'eau du Tarn, la succession de manifestations identiques observée ultérieurement ne peut pas recevoir la même interprétation. La question d'une éventuelle pollution par des effluents domestiques contenant des détergents ménagers où l'uranine est présente comme adjuvant de coloration doit être envisagée : l'implication éventuelle des hameaux établis sur la Causse de Sévérac (le Bez, situé 700 m au nord de la source, de Terménoux et de Caumels, situés 5000 et 6250 m à l'est-nord-est) serait à préciser par des traçages.

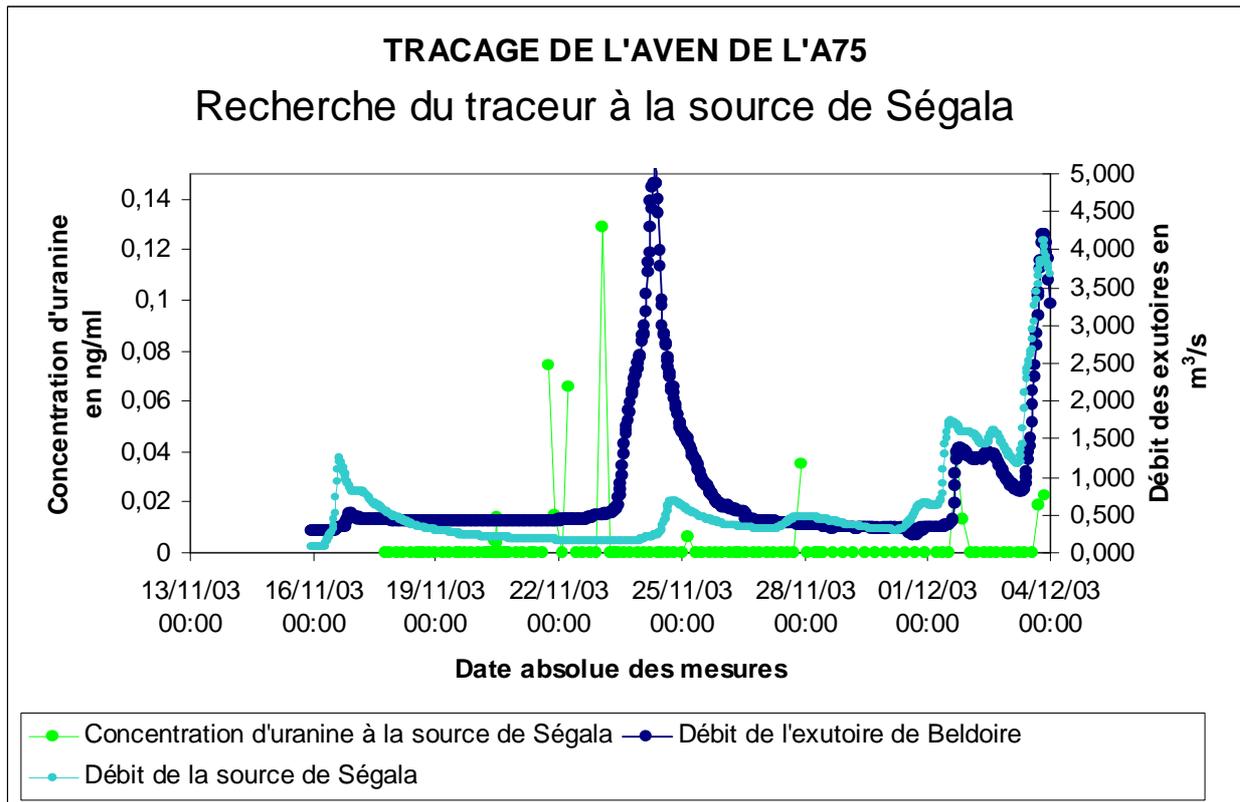


Figure 125 : Traçage de l'aven de l'A75. Recherche de l'uranine à l'exutoire de Ségala.

Au total, la restitution de l'uranine aux exutoires de Beldoire et de Fontmaure met en évidence le rôle joué par le creusement des gorges du Tarn dans l'établissement d'un vaste système qui s'étend vers l'ouest-nord-ouest sur plus de 12 000 m. La possible restitution à la source de Ségala s'insérerait sans difficulté dans un processus de capture progressive de zones de l'aquifère initialement drainées vers l'ouest par ce système. L'absence de restitution aux autres exutoires met en lumière le rôle joué par la faille des Vigne, parallèle à l'axe anticlinal des Vignes – Le Tensonnieu, qui, par l'affaissement relatif de son compartiment nord, force l'établissement d'un axe de drainage dans ce compartiment affaissé, au pied du flanc nord-est de cette voussure anticlinale.

4.6.16 Traçage de la perte des Croses (traçage 12-22 Aveyron)

L'objectif de ce traçage, comme de ceux de l'Aven de Malpertus et des Claux, était d'une part de préciser la limite entre le système karstique de Beldoire-Fontmaure et ceux qui drainent la partie ouest du Causse de Sévérac, et d'autre part de préciser la limite entre les systèmes qui drainent cette surface vers le nord, en direction de la vallée du ruisseau de Serre et ceux qui la drainent vers la vallée de l'Aveyron au sud.

Le traceur, 6000 g d'iodure de potassium soit 4587 g d'iodure, a été injecté au point bas de la dépression située au sud-sud-est de la ferme des Croses et entraîné par le déversement de 3000 l d'eau. Cette dépression est interprétée (DEFAUT B. et al., 1990) comme un cratère d'explosion de type maar ultérieurement rempli par des laves basaltiques.

La restitution de l'iodure à l'exutoire du captage de la buse a fourni une première information sur l'extension du bassin versant du système des sources de Lestang et sur celle, vers l'ouest, du système karstique de Beldoire-Fontmaure.

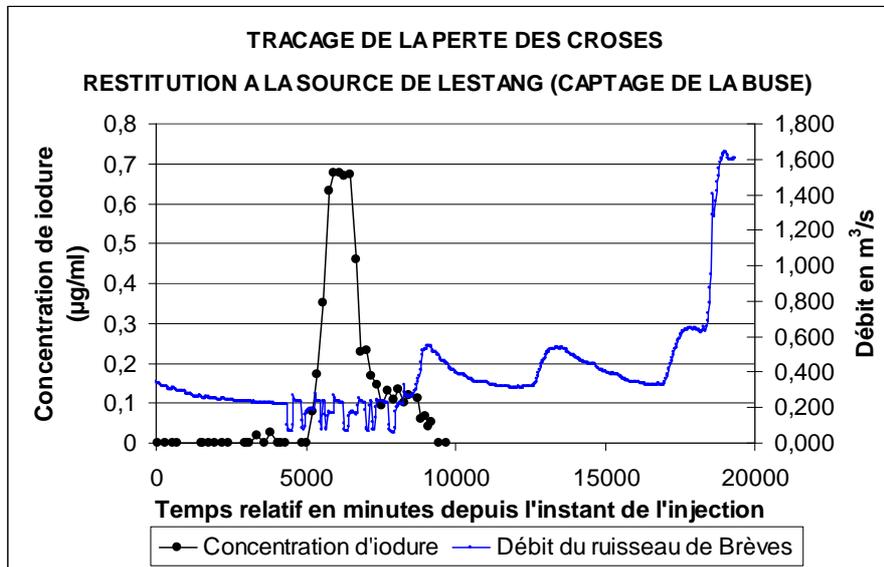


Figure 126 : Tracage de la perte des Crozes. Restitution de l'iodure à l'exutoire du captage de la buse.

Une restitution beaucoup plus faible, mais certaine, notamment à partir du 22 novembre où la concentration de 0,16 µg/ml a été atteinte, est intervenue simultanément à l'exutoire de Saint-Saturnin.

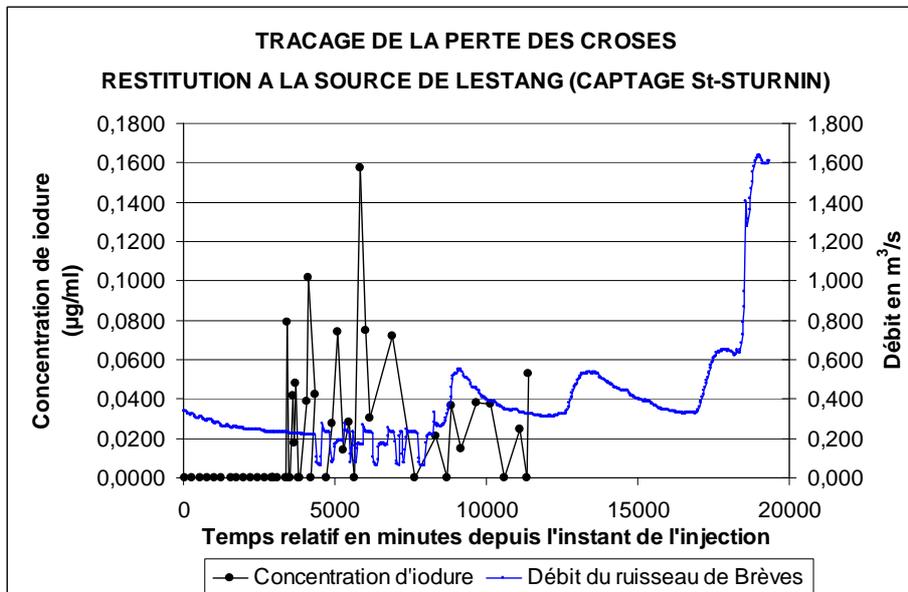


Figure 127 : Tracage de la perte des Crozes. Restitution de l'iodure à l'exutoire du captage de Saint-Saturnin.

Le fort taux de restitution calculé à partir des débits du ruisseau de Brèves (288 %) s'explique par la prise en compte, au niveau de la station limnigraphique située environ 350 m en aval de la zone d'exhaure, du débit d'exutoires qui n'ont vraisemblablement pas été atteints par le traceur. De tels exutoires pourraient se situer dans l'étang ou en aval de ce dernier, notamment en rive gauche où des exutoires de trop-plein entrent en fonctionnement en période de crue.

4.6.17 Traçage de l'aven des juments (traçage 12-23 Aveyron)

Deux injections de 250 g d'éosine ont été effectuées à 40 minutes d'intervalle et suivies d'une chasse de 5000 à 7000 l d'eau, à 45 de profondeur dans cet aven paraissant très colmaté par des sables dolomitiques. Un signal d'éosine de faible intensité (concentration nette maximale = 0,15 ng/ml) pouvant s'expliquer par la rétention, sur le remplissage sableux de l'aven, de la majeure partie de la masse d'éosine injectée s'est manifesté à l'exutoire de Ségala près de 14 jours après l'injection, à l'occasion d'une crue. Compte tenu de la faiblesse du signal observé, le résultat de ce traçage demanderait à être confirmé par une nouvelle opération à réaliser au cours d'une période de précipitations soutenues à l'aide d'une masse de traceur supérieure (2 kg d'uranine par exemple). Le résultat obtenu paraît cependant plausible et cohérent compte tenu de la situation des points d'injection et de restitution et du contexte géologique et structural.

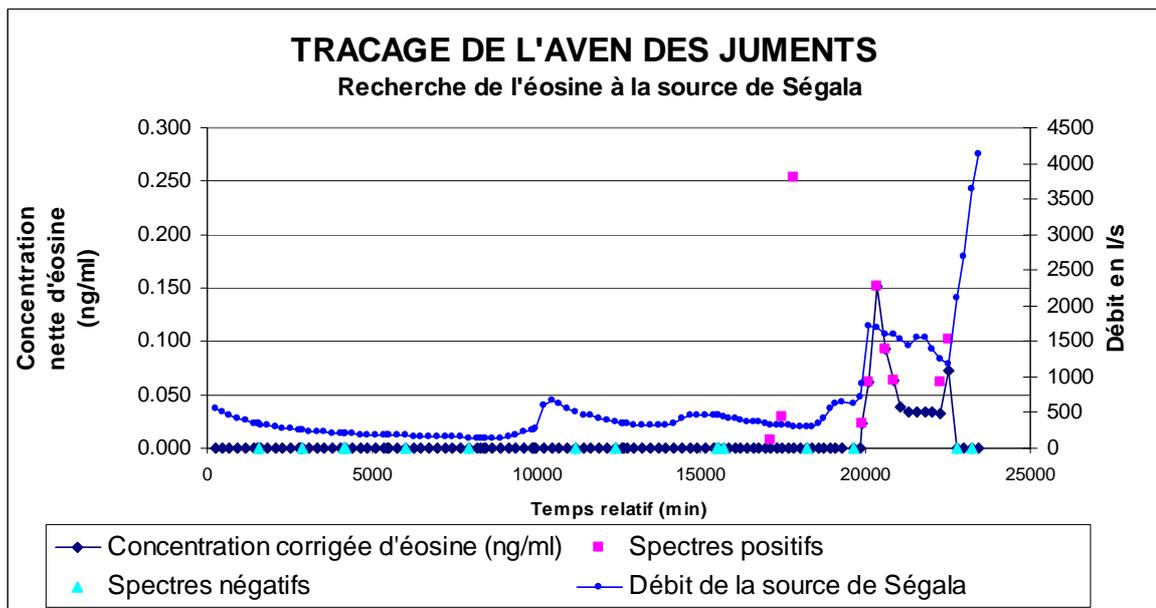


Figure 128 : Traçage de l'aven des Juments. Restitution de l'éosine à la source de Ségala.

Le traçage de l'aven des Juments aura ainsi apporté une information intéressante sur l'extension du bassin versant du système de Ségala vers l'est-nord-est, selon une direction parallèle à celle de la faille des Vignes. L'absence de restitution de l'éosine aux exutoires de Buzareingues et de Tantayrou, situés au sud de cet accident, confirme le rôle déterminant joué par ce dernier dans la délimitation des systèmes karstiques du Causse de Sévérac drainés vers la vallée de l'Aveyron : ces systèmes restent cantonnés dans le compartiment nord affaissé de la faille des Vignes.

4.6.18 Traçage de l'aven de Malpertus (traçage 12-24 Aveyron)

La restitution de l' aminoG acide injectée dans l'aven de Malpertus (3 500 g entraînés par une chasse de 6 000 l d'eau) à la source de Ségala a été particulièrement difficile à distinguer des signaux interférents provoqués par les crues qui se sont succédées à partir du 23 novembre en fin d'après-midi. L'absence de crue pendant la restitution et l'examen des spectres d'excitation et d'émission réalisés à l'aide d'un spectrofluorimètre ont seuls permis de distinguer le signal généré par la restitution du traceur des signaux entraînés par la diffusion par les matières en suspension et par la fluorescence de la matière organique véhiculée par l'infiltration immédiate.

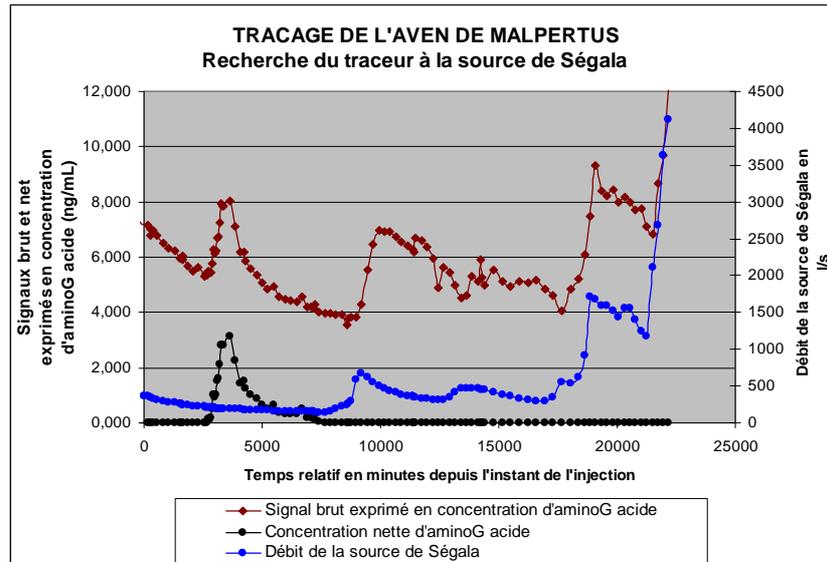


Figure 129 : Traçage de l'aven de Malpertus. Recherche de l' aminoG acide à la source de Ségala.

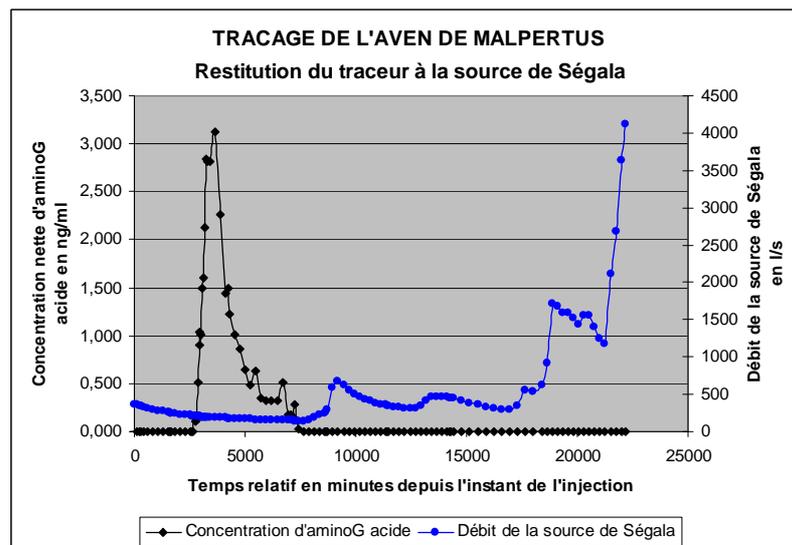


Figure 130 : Traçage de l'aven de Malpertus. Restitution de l' aminoG acide à la source de Ségala.

Ce traçage illustre parfaitement les risques considérables d'erreurs que fait peser l'utilisation des fluorimètres de terrain sur l'interprétation des signaux bruts et l'énoncé du diagnostic lors d'opérations de traçages utilisant notamment des traceurs comme l'acide aminé, le naphthionate de sodium et le tinopal. En outre, il a permis de préciser l'extension du bassin versant du système de Ségala vers l'est.

4.6.19 Traçage de l'aven du Mas de la Barthe (traçage 12-25 Aveyron)

Comme pour le traçage de l'aven de l'A75, l'objectif du traçage de l'aven du Mas de la Barthe était d'obtenir des informations sur l'étendue des systèmes de Beldoire-Fontmaure et de Ségala qui s'avéraient le plus probablement concernés par le transit du traceur, à partir d'un point d'injection situé très près de la faille des Vignes puisque l'aven n'en est distant que de quelques dizaines de mètres.

Réalisé à l'aide de 1000 g de sulforhodamine G entraînés par 9000 l d'eau, ce traçage n'a été suivi d'aucun constat de restitution aux exutoires surveillés jusqu'au 3 décembre, date de suspension définitive des prélèvements.

Cette absence de constat peut avoir plusieurs raisons :

- la rétention du traceur dans les méso et micro-porosité interstitielles des sédiments argilo-sableux qui colmatent une cavité actuellement déconnectée de toute source d'alimentation par ruissellement superficiel. La forte réduction de la teneur en eau de la zone non saturée résultant de la quasi absence d'humidification au cours de l'année ayant précédé l'injection et de la canicule de l'été 2003 offrait un contexte particulièrement favorable à la réalisation de ce processus. Dans ces conditions, la restitution du traceur ne pouvait intervenir que de manière très progressive et différée en fonction de la réimbibition du colmatage jusqu'à une teneur en eau suffisante pour annuler le potentiel capillaire et soumettre à nouveau l'eau au potentiel gravitaire avec comme conséquence de maintenir la concentration à l'exutoire à des valeurs inférieures au seuil de détection par spectrofluorimétrie ;
- une restitution plus tardive que celle observée, par exemple, aux exutoires de Beldoire et de Fontmaure suite au traçage de l'aven de l'A75, qui serait intervenue après la fin de la surveillance. Compte tenu des fortes crues qui ont affecté tous les systèmes dont les exutoires étaient surveillés et ont nécessairement favorisé le transit des traceurs, cette hypothèse nous semble peu probable ;
- une restitution intervenue à un ou des exutoires non surveillés. Les seuls exutoires possibles seraient ceux alimentant le ruisseau de Serre (sources de Serre et de Duc situées dans des reculées de la bordure nord du Causse de Sévérac), ce qui nécessiterait de leur attribuer une surface de bassin versant incompatible avec la valeur de leur débit moyen.

4.6.20 Traçage de l'aven des Claux (traçage 12-26 Aveyron)

L'objectif de ce traçage était identique à celui de la perte des Croses : d'une part, préciser la limite entre le système karstique de Beldoire-Fontmaure et ceux qui drainent la partie ouest du Causse de Sévérac, et d'autre part préciser la limite entre les systèmes qui drainent cette surface vers le nord, en direction de la vallée du ruisseau de Serre et ceux qui la drainent vers la vallée de l'Aveyron au sud.

Ce traçage réalisé à l'aide de 1014 g de pyranine entraînés par 3 000 l d'eau n'a donné lieu à aucun constat de restitution aux exutoires surveillés et notamment à ceux de Lestang et surtout de Ségala qui offraient la probabilité la plus forte de constituer l'aboutissement du transit du traceur. A ce dernier exutoire, les variations du signal brut, mesuré aux longueurs d'onde de la pyranine, qui auraient pu être interprétées comme des signaux de concentrations de pyranine en l'absence d'analyse des spectres d'excitation et d'émission, ne s'avèrent résulter que de variations de la turbidité de l'eau et de sa charge en substances organiques dissoutes.

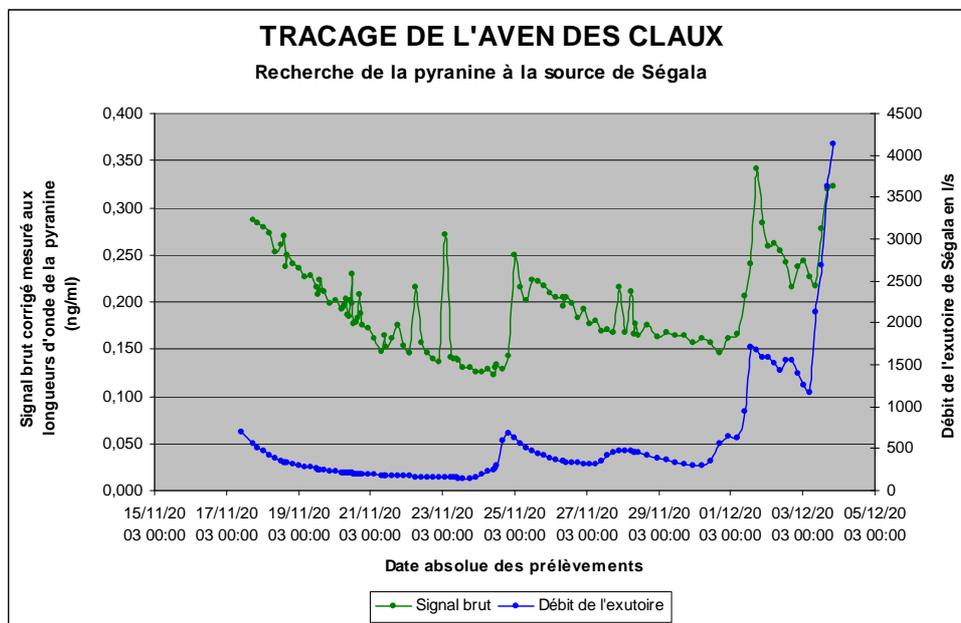


Figure 131 : Traçage de l'aven des Claux. Recherche de la pyranine à la source de Ségala.

Les mêmes hypothèses que celles envisagées pour expliquer l'absence de constat de restitution du traceur lors du traçage de l'aven du Mas de la Barthe peuvent être avancées dans le cas du présent traçage. L'adsorbabilité de la pyranine signalée par certains auteurs comme plus élevée que celle des autres traceurs fluorescents couramment employés, pourrait venir en faveur de la première de ces hypothèses relative à la rétention du traceur et à une remise en circulation très progressive n'ayant pas permis sa détection. La surveillance exercée aux autres exutoires n'a pas davantage permis de constater une restitution. La répétition de ce traçage à l'aide d'un traceur moins adsorbable que la pyranine et pour une teneur en eau de la zone non saturée plus élevée paraît par conséquent indiquée.

4.6.21 Traçage de l'aven du puech de Montgrand (traçage 12-27 Aveyron)

Bien qu'injectés à partir d'une cavité située à environ 1400 m au nord-ouest de la source de Ségala, les 7 000 g de bromure de potassium entraînés par 3 000 l d'eau n'ont donné lieu à aucune restitution à cet exutoire où la situation du point d'injection conduisait très logiquement à la prévoir. La surveillance exercée aux autres exutoires n'a pas permis d'observer de restitution du traceur. Les mêmes hypothèses que celles envisagées pour expliquer l'absence de constat de restitution du traceur lors des traçages de l'aven du Mas de la Barthe et de l'aven des Claux peuvent être avancées dans le cas du présent traçage. La répétition de ce traçage dans des conditions hydrologiques plus favorables est donc également indiquée.

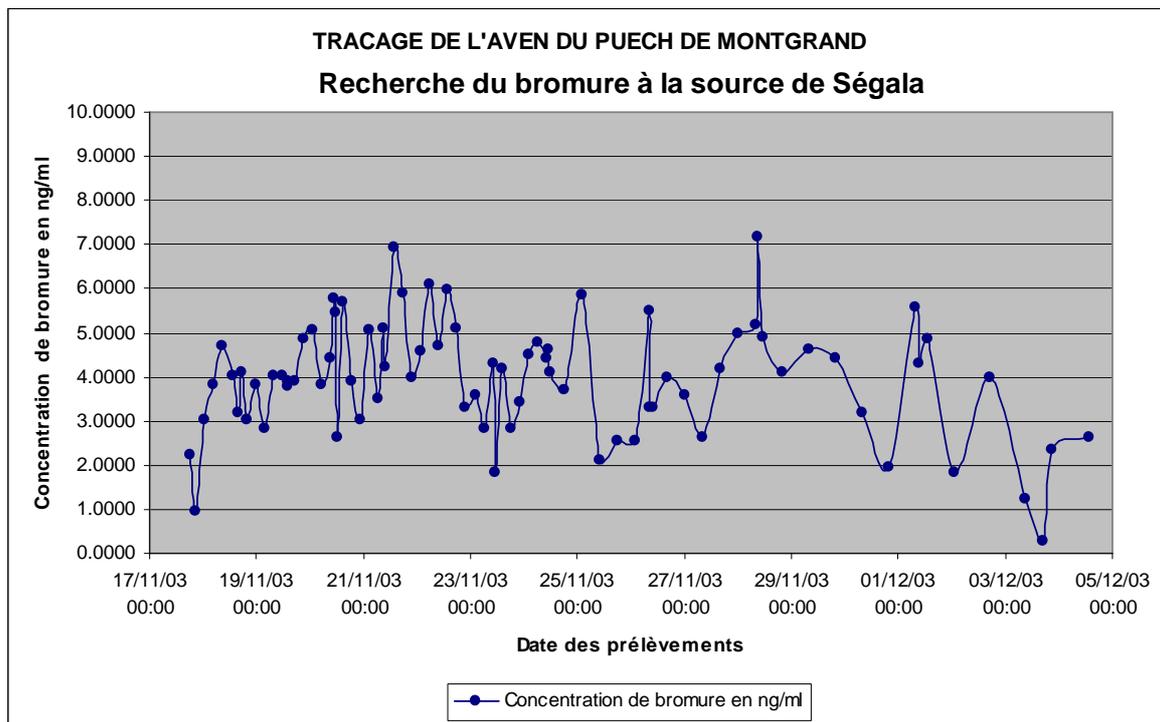


Figure 132 : Traçage de l'aven du Puech de Mongrand. Recherche du bromure à la source de Ségala.

4.6.22 Traçage de l'aven de la Peyrine (traçage 48-2 Lozère)

Ce traçage était destiné à éprouver l'hypothèse d'une relation entre l'aven de la Peyrine, situé à moins d'un kilomètre du Tarn, et l'une ou l'autre, ou les deux à la fois, des sources du Mas de Lafon (BLONDEL T., 2004). L'injection du traceur et le contrôle de son entraînement ont pu être réalisés grâce au concours de Monsieur Serge GRAIA, spéléologue. L'injection du traceur a eu lieu le 29 mars 2004, à 40 m de profondeur, dans une vasque habituellement asséchée. La masse de 100 g d'uranine s'est écoulée très progressivement de la vasque en raison du colmatage de son exutoire par du sable dolomitique : trois visites de contrôle effectuées par Monsieur GRAIA au cours du mois qui a suivi l'injection ont permis de constater la persistance du traceur dans la vasque jusqu'à sa vidange complète intervenue

seulement au terme de cette période. La surveillance exercée aux sources de Lafon pendant 45 jours n'a pas permis d'observer la restitution du traceur. Outre les hypothèses déjà formulées plus haut concernant l'absence de restitution des traçages des avens du Mas de la Barthe, des Claux et du Puech de Montgrand, hypothèses qui ne paraissent pas devoir être privilégiées dans le cas présent compte tenu de la faible distance entre le point d'injection et les exutoires et cela malgré les difficultés de circulation du traceur constatées, celle d'une restitution à un exutoire inaccessible ou non repéré, directement situé dans le lit du Tarn, semble devoir être envisagée en priorité. La répétition éventuelle de ce traçage devrait donc être précédée d'une prospection détaillée du lit du Tarn destinée au repérage exhaustif des émergences. Ce repérage pourrait être effectué par des profils thermiques longitudinaux en période estivale.

4.6.23 Traçage de l'aven d'Agues (traçage 12-28 Aveyron)

L'aven d'Aguès est le plus occidental des points d'injection concernés par la présente campagne de traçages du causse de Sévérac. Situé 1550 m au nord de la faille des Vignes qui met en contact les formations carbonatées du causse avec les schistes et gneiss du socle et constitue ainsi la limite méridionale des systèmes karstiques du Causse, ce point d'injection était destiné à préciser le tracé de la limite séparant le système de Mayrinhac de celui de la fontaine d'Esparse. Mettant à profit la période pluvieuse qui a apporté 149 mm de précipitations à Sévérac-le-Château du 27 avril au 13 mai 2004, l'injection du traceur (130 g d'uranine) a été effectuée le 6 mai, dans un écoulement débitant 0,5 l/s, à - 30 m, au milieu du deuxième puits de la cavité dont la profondeur totale est de 65 m. Il s'en est suivi une restitution qui a débuté moins de 4 jours plus tard à l'exutoire de la fontaine d'Esparse, n'a concerné qu'une très faible fraction de la masse de traceur injectée (2%), mais présenté une forme parfaitement cohérente avec le temps moyen de séjour de la restitution ($D.T.S._{max} = 11,4 \cdot 10^{-6} s^{-1}$).

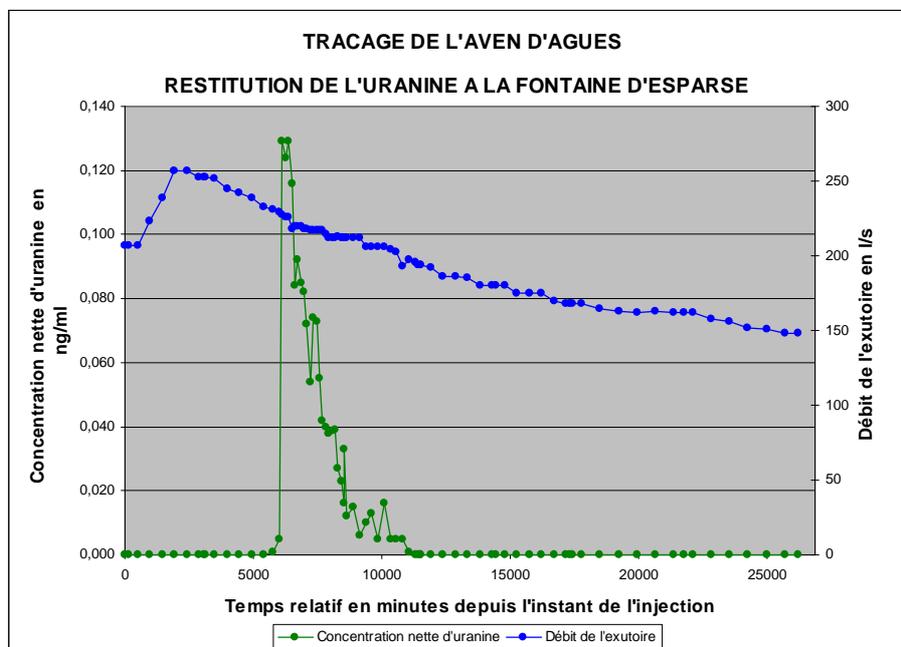


Figure 133 : Traçage de l'aven d'Agues. Restitution à la Fontaine d'Esparse.

Compte tenu de l'absence de restitution de traceur à l'exutoire voisin de Mayrinhac, le très faible taux de restitution constaté ne peut résulter d'une diffluence, mais d'une très forte rétention sur le matériel sablo-argileux qui colmate partiellement les cavités karstiques du Causse. La forme tronquée de la courbe de concentration (absence de traîne) peut ainsi être interprétée comme résultant de la très forte atténuation de la partie la plus faible du signal par ce processus. Les caractéristiques de cette restitution montrent que la fraction de la masse de traceur qui n'a pas été retenue a transité facilement vers l'exutoire et la forme de la D.T.S. indique que ce processus agit proportionnellement à la concentration : une forte non-linéarité du processus de rétention du traceur se traduirait par une diminution sensible de la valeur maximale de la D.T.S. Les caractéristiques de cette restitution sont comparables à celles de traçages effectués dans les systèmes karstiques de la craie du gâtinais qui se développent sous une couverture d'altérites fortement soutirées par les vides karstiques. Elles rendent compte de la forte probabilité d'«échec» pouvant affecter les traçages effectués à partir de cavités karstiques non fonctionnelles et colmatées suite à la rétention du traceur sur le matériel de remplissage, comme ceux réalisés à partir des avens du Mas de la Barthe, des Claux et du Puech de Montgrand en constituent probablement des exemples. Mais parallèlement, ces résultats illustrent la très forte atténuation, voire la disparition totale que peuvent subir les concentrations de substances polluantes susceptibles d'être retenues sur ces mêmes matériels et par conséquent le rôle positif que ces derniers peuvent jouer dans l'épuration naturelle des eaux infiltrées dans le karst.

4.6.24 Traçage de l'aven de Cassagnes (traçage 12-29 Aveyron)

L'aven de Cassagnes, aligné avec les sources de Mayrinhac et de Ségala entre lesquelles il se situe, s'ouvre à 200 m environ de la faille des Vignes, dans un contexte géologique identique à celui de l'aven d'Agues. Profond de 30 m il débouche sur une grande salle qui recoupe un écoulement de faible débit (0,2 l/s). Le traceur, 2500 g d'éosine poussés par 3000 l d'eau, a été injecté le 24 mai 2004 en conditions de décrue. Ce traçage, destiné à fournir une information sur la position de la limite séparant les systèmes drainés par les deux émergences citées plus haut, a donné lieu à une restitution d'abord assez intense, la valeur maximale de la D.T.S. étant apparue un peu plus de 25 h après l'injection, suivie d'une traîne très étalée puisque le dernier échantillon prélevé le 23 juillet contenait encore du traceur. L'existence de cette traîne est responsable de la valeur du temps moyen de séjour (91,7 h) nettement plus forte que celle du mode de la D.T.S. Aux incertitudes près, le taux de restitution de 117 % indique que la totalité du traceur a été restituée. Les caractéristiques de cette restitution indiquent qu'aucun processus de rétention significative du traceur ne s'est exercé pendant le transit du traceur dans le système. Le traceur a très probablement transité sans difficulté vers un karst noyé assez développé compte tenu de l'importance du volume d'eau tracé. La proximité du point d'injection par rapport à la faille des Vignes et son altitude proche de celle de l'exutoire sont très probablement responsables de ce transit facile qui n'implique pas la traversée d'une zone non saturée épaisse et s'effectue vraisemblablement dans une partie aval du système très karstifiée en raison de la convergence des trajectoires d'écoulement imposée par le barrage résultant du contact avec les schistes et micaschistes du horst de Vimenet, barrage qui favorise en outre la constitution d'une zone saturée très développée au nord immédiat de l'accident. Cette restitution constitue l'antithèse de celle obtenue à la suite du traçage de l'aven d'Aguès.

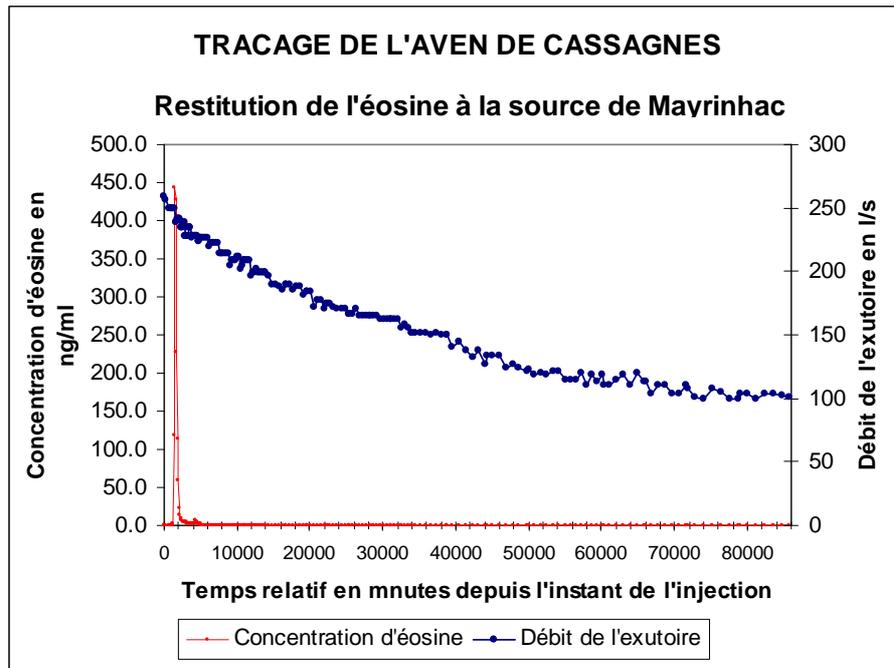


Figure 134 : Traçage de l’aven de Cassagnes. Restitution à la source de Mayrinhac.

4.6.25 Traçage de l’aven des Trois Communes (traçage 12-30 Aveyron)

L’aven des Trois Communes est une modeste cavité de 3 m de profondeur, obstruée par des éboulis rocheux de gros diamètre, située à 800 m au sud-ouest de l’aven d’Aguès et à égale distance entre les sources de Lenne et d’Orbis qui drainent une partie du Causse de Sévérac vers le nord et celles d’Esparses et de Mayrinhac qui le drainent vers le sud. 500 g de sulforhodamine B ont été injectés le 3 juin 2004 entre les blocs et entraînés par 3000 l d’eau. Aucune restitution consécutive à ce traçage n’a été constatée aux exutoires surveillés à l’aide de préleveurs automatiques (Esparses, Mayrinhac, Ségala) où une restitution aurait donc nécessairement été détectée et à ceux de Lestang (captage et Saint-Saturnin) où, par contre, seuls quelques prélèvements manuels ont été effectués à une fréquence (7, 9 et 17 juin) qui ne permet pas d’afficher la même certitude. Cependant, la situation du point d’injection ne permet pas de considérer cette éventualité comme la plus probable, et c’est plutôt vers la même cause d’absence de restitution que celle qui a été invoquée pour les traçages infructueux du Mas de la Barthe, de l’aven des Claux et du Puech de Montgrand, à savoir la rétention sur les matériels de remplissage, qu’il paraît raisonnable de s’orienter.

4.6.26 Traçage de l'aven de Belhomme (traçage 12-31 Aveyron)

L'aven de Belhomme est situé à 1500 m de la faille des Vignes, à égale distance des quatre points d'injection des traçages réalisés à partir des avens de Cassagnès, d'Aguès, de la perte des Crozes et de l'aven des Juments, appartenant respectivement aux systèmes de Mayrinhac, d'Esparses, de Ségala et de Lestang. Sa situation lui conférerait un intérêt certain pour la délimitation plus précise des bassins versants de ces quatre systèmes. Il s'agit d'une cavité de 2,5 m de profondeur, obstruée par des éboulis rocheux de gros diamètre.

Une masse de 5000 g de bromure de potassium y a été injectée le 3 juin 2004 et entraînée par 3000 l d'eau. Aux trois exutoires surveillés à l'aide de préleveurs automatiques, Esparses, Mayrinhac et Ségala, aucune variation structurée de la concentration de bromure n'a permis de conclure à une restitution du traceur. Il faut cependant signaler l'apparition de signaux sporadiques d'assez forte intensité les 11 et 12 juin 2004 à Mayrinhac et entre le 20 et le 26 juin aux trois exutoires. Si l'hypothèse d'une pollution ou d'une erreur analytique peut être écartée, les échantillons provenant des trois exutoires ayant été analysés dans des séries et à des dates différentes, l'origine de ces signaux n'est pas établie avec certitude. L'examen de l'hydrogramme montre que le traceur a été injecté en période de récession d'une crue survenue le 30 avril précédent et suivie d'un pic secondaire le 8 mai. D'autre part, l'hydrogramme de la source de Ségala présente une légère intumescence du 16 juin, 19h, au 17 juin, 16h, soit 4 jours avant le plus intense des signaux apparus à cet exutoire. Cette intumescence pourrait traduire l'existence d'une très faible recharge consécutive à de petits épisodes pluvieux et le signal de bromure révéler l'exercice d'une faible infiltration immédiate chargée, lors de son transit dans la zone non saturée, en ions ayant subi une reconcentration suite à l'évapotranspiration. Les autres signaux pourraient avoir été induits par l'infiltration immédiate consécutive aux précipitations ayant provoqué les crues des 30 avril et 8 mai..

4.6.27 Traçage de l'aven de la carrière de Clos-Haut (traçage 12-32 Aveyron)

L'aven de la carrière de Clos-Haut est situé à 1000 m à l'ouest-nord-ouest de l'aven du col de la Fagette dont le traçage (12-8 Aveyron) avait montré l'appartenance au bassin versant du système drainé par la source de Beldoire et à 1725 m à l'ouest de la doline du col de la Fagette dont le traçage avait, lui, donné lieu à une restitution à la source de Roquaizou (ROUQUET J., 1976). Le traçage de l'aven de la carrière de Clos Haut était destiné à préciser l'appartenance de ce point à l'un des trois systèmes drainés par les sources de Beldoire, située à 15180 m au sud-est, dans les gorges du Tarn, du ruisseau de Serre, située 2950 m à l'ouest, et de Roquaizou, située 3780 m à l'est-nord-est, ces deux derniers exutoires appartenant au bassin versant du Lot.

L'aven s'ouvre sur le carreau de la carrière, actuellement en exploitation. Aucune trace de colmatage n'est visible. Une masse de 400 g d'uranine en solution a été injectée le 22 novembre 2004 depuis la lèvre du gouffre et entraînée par 26000 l d'eau.

RECHERCHE DE L'URANINE AUX EXUTOIRES DE BELDOIRE ET DE FONTMAURE

Le traceur a réapparu le 30 novembre à la source de Beldoire et deux jours plus tard à celle de Fontmaure, confirmant l'appartenance de cet exutoire au système de Beldoire. Les caractéristiques de la D.T.S. (vitesse apparente de 55 et 45 m/h respectivement à Beldoire et

Fontmaure, valeur maximale de la D.T.S. nettement plus faible à Fontmaure) révèlent un transit facile du traceur compte tenu de la situation distale du point d'injection dans le système et des conditions hydrologiques (tarissement) qui ont régné pendant le transit du traceur dans ce dernier. La vitesse apparente et la valeur maximale de la D.T.S. plus faibles à l'exutoire de Fontmaure indiquent un transit légèrement moins facile vers l'exutoire de Fontmaure. Or, cet exutoire, situé en amont hydraulique de l'exutoire de Beldoire, constitue un trop-plein de ce système, tout en recevant probablement une autre source d'alimentation comme l'a montré la géochimie des eaux des exutoires. En période de basses eaux, pouvant aller jusqu'à la cessation de fonctionnement de l'exutoire, la zone d'exhaure reçoit de l'eau en provenance du Tarn, soit par des pertes directes de ce dernier, soit par l'intermédiaire des alluvions de son lit mineur. Or, entre le 27 novembre et le 3 décembre, l'hydrogramme présente une intumescence correspondant à une augmentation du débit de 350 à 480 l/s. L'exutoire de Beldoire ne présente, pendant la même période, qu'une variation de débit de quelques l/s, une faible crue (accroissement du débit de 10 l/s) n'intervenant que le 3 décembre alors que l'exutoire de Fontmaure présente, lui, une crue nettement plus marquée (maximum à 1750 l/s). L'hypothèse d'une augmentation de la charge hydraulique sur la zone d'exhaure de Fontmaure, consécutive à une crue du Tarn, ayant provoqué le ralentissement du transit du traceur vers cet exutoire paraît donc vraisemblable et la légère différence constatée dans les paramètres du transit ne seraient pas imputables à des caractéristiques structurelles du réseau de drainage aboutissant à Fontmaure, mais au contrôle exercé en période de basses eaux par le Tarn sur la charge hydraulique de la zone d'exhaure.

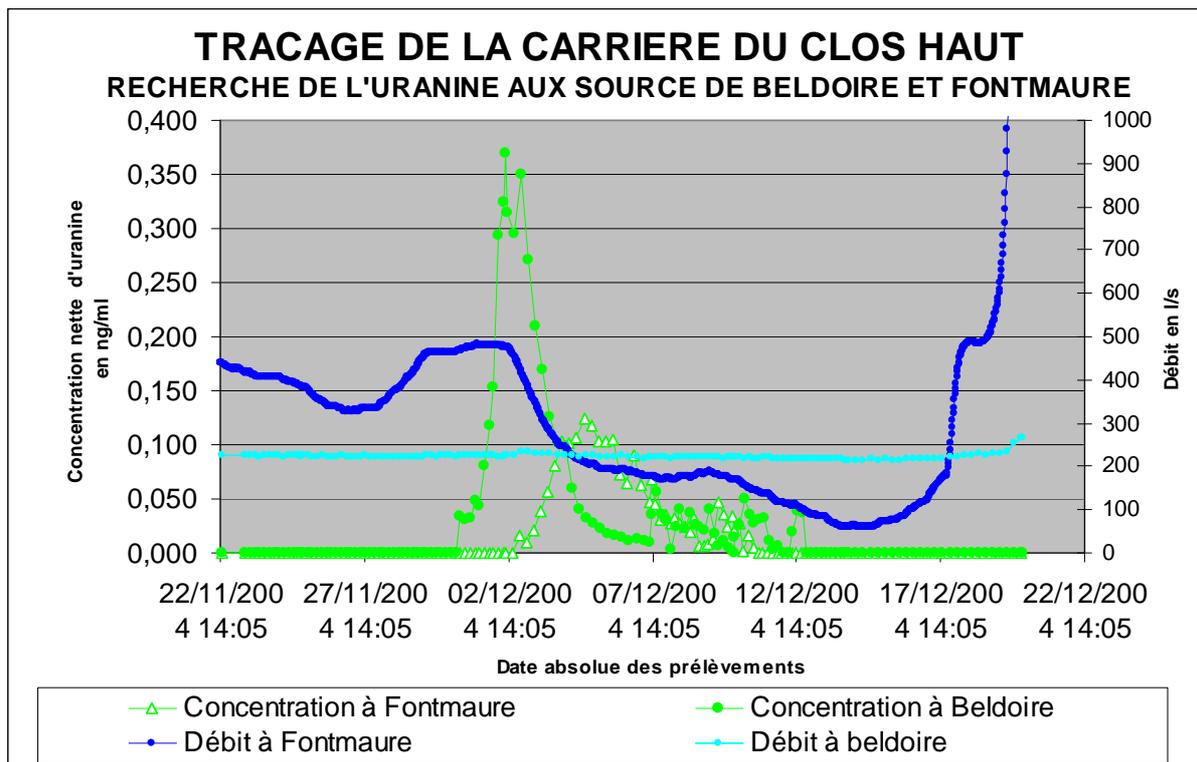


Figure 135 : Traçage de l'aven de la carrière de Clos-Haut. Restitution aux sources de Beldoire et de Fontmaure.

RECHERCHE DE L'URANINE A L'EXUTOIRE DE ROQUAIZOU

Les trois premiers échantillons de la première série sont positifs – ce qui ne peut s'expliquer que par la pollution des prélèvements, le premier échantillon ayant été prélevé avant l'injection – puis tous les échantillons des séries n° 2, 3 et 4. Les séries suivantes ne montrent plus que quelques échantillons très faiblement positifs. Tout en présentant un aspect aléatoire résultant d'une assez forte variabilité de la concentration d'un échantillon à l'autre qui pourrait s'expliquer par des pollutions accidentelles des prélèvements, le signal ainsi constitué montre une structure qui peut procéder d'une restitution de traceur. La concentration maximale atteinte est de l'ordre de 0,7 ng/ml si l'on élimine de la série les oscillations aléatoires. Cette interprétation demanderait cependant à être confirmée par un nouveau traçage pour lequel toutes les précautions seraient prises pour éviter les contaminations qui, à l'évidence, ont altéré la qualité et la représentativité des prélèvements réalisés dans le cadre de la présente expérience. Dans l'hypothèse d'une confirmation de ce résultat, une diffiusion d'écoulement vers l'exutoire de Roquaizou viendrait s'ajouter à la restitution mise en évidence vers ceux de Beldoire et Fontmaure. Elément ne plaidant pas en faveur de cette hypothèse, la situation de l'aven, 1000 m à l'ouest de l'aven du Clos-Pouchut et 1500 m au sud de la perte de la fontaine de Saint-Urbain, deux points d'injection de traçages qui n'ont donné lieu qu'à des restitutions aux émergences de Beldoire et Fontmaure (en ce qui concerne le second traçage pour cet exutoire). Dans l'immédiat, nous ne considérerons donc pas l'hypothèse d'une restitution à la source de Roquaizou comme probable et suggérerons la réalisation d'un nouveau traçage qui pourrait être simultané avec celui de la doline du col de la Fagette afin de la vérifier ou de l'infirmer.

RECHERCHE DE L'URANINE A L'EXUTOIRE DE LA SOURCE DU RUISSEAU DE SERRE

Aucune restitution n'a été constatée à la source du ruisseau de Serre. La limite commune au à ce système et à celui de Beldoire passe donc plus à l'ouest et sa localisation nécessitera la réalisation d'autres traçages à partir d'éventuelles cavités ou de points de pertes fonctionnant en période d'épisodes pluvieux très intenses.

4.6.28 Traçage de la perte de la fontaine de Saint-Urbain (traçage 12-33 Aveyron)

La fontaine de Saint-Urbain est un regard sur une modeste circulation établie dans les colluvions d'altérites provenant de l'altération des dolomies bajociennes et reposant sur les calcaires sous-jacents où le faible débit (~ 0,25 l/s au moment de l'injection) disparaît. La modestie du débit de cette circulation est inversement proportionnel à l'intérêt qu'elle a révélé en tant que point d'injection de ce traçage eu égard au résultat qu'il a permis d'obtenir. L'autre intérêt de ce point est d'être situé à 550 m de la corniche de calcaires gris à chailles et *Cancellophycus* du Bajocien qui limite vers le nord le versant monoclinale du Causse de Sévérac à pendage général vers le sud. La fontaine est à 1550 m au nord-nord-ouest de l'aven de la carrière de Clos-Haut.

Le traceur, 1000 g de sulforhodamine B, a été déversé le 22 novembre dans l'écoulement naturel, sans apport supplémentaire d'eau.

RECHERCHE DE LA SULFORHODAMINE B AUX EXUTOIRES DE BELDOIRE ET DE FONTMAURE

Conséquence logique des distances parcourues par la sulforhodamine B un peu plus grandes que celles parcourues par l'uranine, les temps moyens de séjour de ce traceur vers les exutoires de Beldoire et Fontmaure sont un peu plus élevés que pour l'uranine et la sulforhodamine a réapparu aux exutoires de Beldoire et de Fontmaure un peu moins d'un jour après la restitution de l'uranine injectée dans le gouffre de la carrière de Clos-Haut. Les vitesses apparentes plus faibles d'une douzaine de m/h et les valeurs maximales de la D.T.S. nettement inférieures à celles présentées par l'uranine indiquent en revanche un transit plus difficile dans la partie du trajet empruntée par la sulforhodamine B entre la perte de Saint-Urbain et le point du réseau de drainage atteint par l'uranine à partir de l'aven de la carrière de Clos-haut. Ces caractéristiques peuvent résulter de la difficulté du transit dans la partie amont d'un réseau de drainage probablement partiellement colmaté par les altérites et/ou de la faiblesse du débit qui a transporté le traceur dans cette partie distale du système.

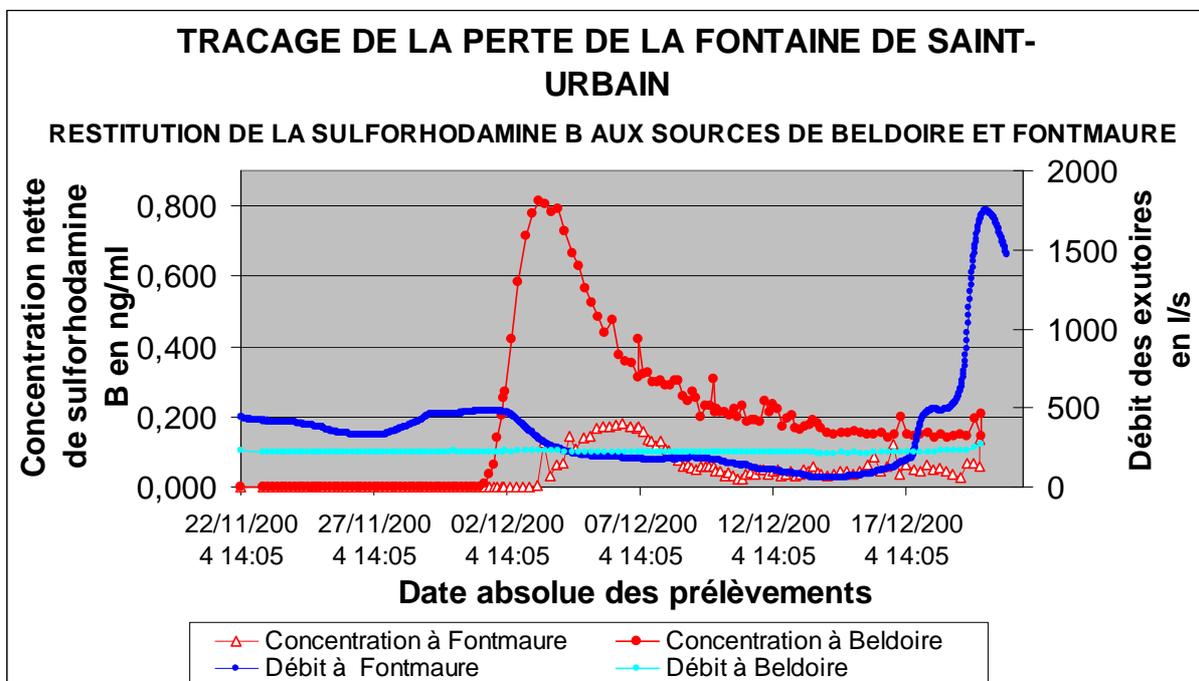


Figure 136 : Traçage de l'aven de la perte de la fontaine de Saint-Urbain. Restitution aux sources de Beldoire et de Fontmaure.

Compte tenu de la situation du point d'injection et du pendage général des formations carbonatées constituant le Causse, et notamment des formations terrigènes très peu perméables du Toarcien et du Domérien qui en constituent le substratum imperméable, la restitution du traceur aux exutoires de Beldoire et de Fontmaure plaide en faveur de l'extension de la limite nord-ouest du système de Beldoire-Fontmaure jusqu'au pied de la corniche des calcaires du bajocien qui constituent l'aquifère dans ce secteur.

RECHERCHE DE LA SULFORHODAMINE B AUX EXUTOIRES DE ROQUAIZOU ET DE LA SOURCE DU RUISSEAU DE SERRE

Aucune restitution de sulforhodamine B n'a été constatée aux exutoires de Roquaizou et de la source du ruisseau de Serre. Compte tenu de l'absence de réseau hydrographique superficiel fonctionnel à l'ouest de la Fontaine de Saint-Urbain et de la carrière de Clos-haut, il conviendrait, pour préciser la situation de la limite entre les systèmes de la source du ruisseau de Serre et de Beldoire-Fontmaure, de rechercher, outre les cavités pouvant être parcourues par des écoulements, des pertes d'éventuels écoulements superficiels pouvant prendre naissance sur les placages d'altérites en période de très fortes précipitations. Des sites favorables à l'existence de telles pertes temporaires en bordure des affleurements d'altérites semblent pouvoir déjà être pressentis : dépression des Amaruts, située 875 m à l'ouest de la Fontaine de Saint-urbain et à 125 m du bord de la corniche calcaire, dépression située à 650 m à l'ouest-nord-ouest de l'aven de la carrière de Clos-Haut, dépressions situées au lieu-dit « le Grand Viala », 1375 m au sud de la source du ruisseau de Serre, dépression 325 m à l'ouest-sud-ouest de Levers, dépression de Terménoux. La prospection de ces sites favorables nécessite une très grande réactivité car son succès repose sur l'observation et la mise à profit en cas d'injection de traceur, au moment même des épisodes pluvieux, du fonctionnement très occasionnel d'éléments de réseau hydrographique habituellement non fonctionnel. Une prospection effectuée les 25 et 26 octobre 2004 (N. JOZJA, M. LEPILLER, P. MARCHET, à l'occasion d'un épisode orageux de moyenne importance, mais d'assez forte intensité dans les parties nord des Causses du Masségros et de Sévérac nous a permis d'estimer l'intensité que le phénomène pourrait atteindre en cas d'épisode pluvieux de temps de retour élevé et l'intérêt qu'une telle situation pourrait présenter pour la réalisation de traçages dans les parties du Causse dépourvues d'écoulement superficiel temporaire (Causse du Masségros, Causse de Sévérac).

5 EVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE

5.1 Analyse de la récession

5.1.1 Remarques concernant les courbes de tarage

La courbe de tarage est la courbe qui établit la relation entre les hauteurs d'eau mesurées à partir du limnigraphe et le débit, paramètre dont la connaissance est indispensable pour toute interprétation. C'est dire tout le soin qui doit être apporté aussi bien à sa réalisation qu'à sa forme. Cette dernière est déterminée par les caractéristiques de la station de mesure.

La courbe de tarage doit définir une relation biunivoque entre la hauteur d'eau et le débit, elle caractérise la station de mesure qui doit répondre à trois critères : stabilité, sensibilité et précision.

Pour sa réalisation, il convient de réaliser sur l'écoulement une forte perte de charge, ce qui est obtenu par la constitution d'un seuil. Ce dernier permet de respecter le premier des trois critères.

Pour les deux autres, la difficulté est plus importante, d'autant qu'avec des sources de type karstique, ce qui est le cas, la variation de hauteur d'eau est très importante.

L'étude théorique des seuils montre que la relation hauteur – débit répond à une courbe de puissance $Q = ch^n$, où en général n varie de 1,5 (seuil rectangulaire) à 2,5 (seuil triangulaire), l'optimum étant atteint pour $n = 2$ avec des seuils paraboliques. Il est montré également que lorsque n est supérieur à 3 les critères de sensibilité et de précision en sont fortement affectés. Par exemple avec $n = 6$, l'erreur relative peut être supérieure à 30 %.

Une approche de l'identification de la valeur de l'exposant n peut être faite en réalisant une régression curvilinéaire sur les courbes de tarages. Dans le tableau suivant sont indiqués les résultats obtenus sur les différentes sources.

On constate que pour la plupart d'entre elles n est supérieur à 3 avec parfois des valeurs fortes (Roquaizou où $n = 9,92$ et Courlinaux avec $n = 31,5$). Ces résultats tiennent au fait que par rapport aux variations observées de niveaux d'eau, la forme des seuils utilisés (lorsqu'il y a un seuil, car parfois les conditions hydrogéologiques n'ont pas permis d'installer de seuil) est mal adaptée : seuil composite large avec échancrure en V, hauteur des seuils trop forte.

Bastide	$Q = 2.95 h^{3.67}$	$r = 0.9887$
Beldoire	$Q = 0.073 h^{5.39}$	$r = 0.9831$
Buzareingues	$Q = 2.250 h^{6.88}$	$r = 0.9828$
Cayrac	$Q = 1.11 h^{2.97}$	$r = 0.9995$
Courtinaux	$Q = 2.75 h^{31.5}$	$r = 0.9813$
Duc	$Q = 3.342 h^{4.14}$	$r = 0.9935$
Esparses	$Q = 1.745 h^{3.2}$	$r = 0.9088$
Fontmaure	$Q = 1.315 h^{3.06}$	$r = 0.9871$
Glassac	$Q = 1.636 h^{2.69}$	$r = 0.9746$
Lestang	$Q = 11.94 h^{6.54}$	$r = 0.9956$
Mas de Lafon	$Q = 268 h^{6.1}$	$r = 0.9889$
Mayrinhac	$Q = 8.77 h^4$	$r = 0.9839$
Roquaizou	$Q = 25206 h^{9.92}$	$r = 0.9023$
Rouveyrol	$Q = 0.043 h^{3.76}$	$r = 0.9369$
Segala	$Q = 12.41 h^{3.98}$	$r = 0.9897$
Serre	$Q = 6.88 h^{4.66}$	$r = 0.9761$
Tantayrou	$Q = 5.02 h^{4.44}$	$r = 0.9942$
Verlenque	$Q = 23.06 h^{6.16}$	$r = 0.9912$

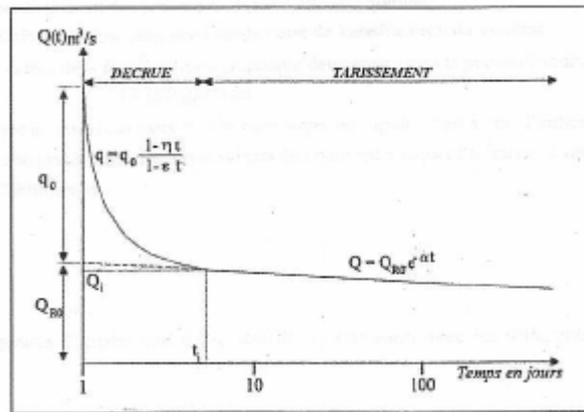
Figure 137 : Tableau - Analyse des courbes de tarage

5.1.2 La théorie

Ces courbes rendent compte de l'évolution des débits de décrue puis de tarissement des sources et permettent l'estimation des réserves en eau des aquifères qui les alimentent. La méthode d'analyse de ces courbes de "récession" se base sur un modèle de A. MANGIN (1970) dans lequel l'aquifère karstique est considéré comme constitué par deux réservoirs indépendants : l'un représentant la zone d'infiltration et l'autre la zone noyée. Selon ce modèle, toute courbe de récession répond à une équation du type :

$$Q = Q_{ro} \cdot e^{-at} + \frac{Q_0}{1+st}$$

dont le graphe est représenté ci-dessous et où :



Décomposition de la récession selon la méthode MANGIN (1970)

- α = coefficient de tarissement, rendant compte des réserves du système (d'autant plus grandes que α est faible)
- η = coefficient d'infiltration, rendant compte de la vitesse de celle-ci (η varie entre 0 et 1 et l'infiltration est d'autant plus rapide que $\eta \sim 1$)
- ε = coefficient d'hétérogénéité de l'écoulement, rendant compte du fonctionnement de la zone d'infiltration (ε caractérise la concavité de la courbe qui est d'autant plus prononcée que l'infiltration est rapide)

Une approche des réserves du système peut en outre être fournie par l'évaluation du "volume dynamique" (V_{dyn} = volume en mouvement dans l'aquifère), dont le calcul répond à l'expression suivante :

$$V_{dyn} = \int_0^{\infty} Q_{no} \cdot e^{-\alpha \cdot t} = \frac{Q_{no}}{\alpha} \cdot c$$

c est une constante dépendant des unités : si Q_{no} est en $m^3 \cdot s^{-1}$ et α en j^{-1} , c vaudra 86400.

5.1.3 La pratique et les résultats

Le tarissement a été étudié sur l'ensemble des hydrogrammes 2003 et 2004.

Une courbe de tarissement et une courbe de décrue ont été établies pour la plupart des stations concernées (cf. graphiques joints en annexe et tableau récapitulatif ci-dessous).

Pour 2003 et 2004, une date de début de tarissement à peu près similaire a été trouvée :

- Décrue 2003 : début février 2003 ; Tarissement : une quarantaine de jours plus tard
- Décrue 2004 : début mai 2005 ; tarissement : une trentaine de jours plus tard.

Analyses du Tarissement 2003 et 2004

Pour 2003 :

Source	Bastide	Beldoire	Buzareingu	Cayrac	Courtinaux	Duc	Esparses	Fontmaure	Glassac	Lestang	Mas de Laf	Mayrinhac	Roquaizou	Rouveyrol	Ségala	Serre	Tantayrou	Verlenque
Date départ de la décrue :	04/02/03	05/02/05	04/02/03	04/02/03	04/02/03	04/02/03	05/02/05			04/02/03		04/02/03	04/02/03	04/02/03	04/02/03	05/02/05		04/02/03
Débit en m3/s :	0.359	0.384	0.107	0.178	1.195	0.422	0.338			2.79		0.7	0.345	0.839	2.2	0.352		0.37
Date fin du tarissement :	13/10/03	03/07/05	12/09/03	11/09/03	27/07/03	24/07/03	17/09/03			05/08/03		18/08/03	13/04/03	24/08/05	05/08/03	23/09/03		24/10/03
Débit en m3/s :	0.015	0.168	0.005	0.045	0.005	0.003	0.008			0.02		0.022	0.005	0.45	0.02	0.004		0.009
alpha :	0.0019	0.0037	0.0078	0.0027	0.0116	0.0158	0.009			0.0134		0.0124	0.0211	0.005	0.012	0.0049		0.0017
eta :	0.0208	0.0238	0.0156	0.0244	0.0189	0.0167	0.0217			0.0208		0.0208	0.0625	0.0161	0.0208	0.0152		0.0233
epsilon :	1.145	2.06	0.467	0.356	2.59	0.47	0.125			2.431		0.569	3.246	1.536	1.083	1.261		4.99
Qr0 en m3/s :	0.024	0.293	0.028	0.082	0.037	0.044	0.061			0.228		0.249	0.021	0.501	0.178	0.012		0.014
Q0 en m3/s :	0.359	0.384	0.107	0.178	1.195	0.422	0.338			2.79		0.7	0.345	0.839	2.2	0.352		0.37
q0 en m3/s :	0.335	0.091	0.079	0.096	1.158	0.378	0.277			2.562		0.451	0.324	0.338	2.022	0.34		0.356
q0 en m3/s :	0.335	0.091	0.079	0.096	1.158	0.378	0.277			2.562		0.451	0.324	0.338	2.022	0.34		0.356
Q0 en m3/s :	0.359	0.384	0.107	0.178	1.195	0.422	0.338			2.79		0.7	0.345	0.839	2.2	0.352		0.37
Q'0 en m3/s :	0.022	0.25	0.017	0.073	0.02	0.017	0.04			0.12		0.137	0.015	0.485	0.1	0.009		0.013
ti en jours	48	42	64	41	53	60	46			48		48	16	62	48	66		43
V dyn. en m3 :	1 100 000	6 740 000	309 000	2 590 000	276 000	240 000	579 000			1 470 000		1 730 000	86 000	80 400 000	1 280 000	218 000		719 000
V' dyn. en m3 :	1 010 000	5 760 000	187 000	2 320 000	150 000	93 100	382 000			775 000		951 000	61 300	77 800 000	719 000	157 000		669 000
v inf. en m3 :	67 000	14 000	37 000	45 000	150 000	170 000	240 000			350 000		170 000	26 000	69 000	490 000	81 000		27 000

Pour 2004 :

Source	Bastide	Beldoire	Buzareingu	Cayrac	Courtinaux	Duc	Esparses	Fontmaure	Glassac	Lestang	Mas de Laf	Mayrinhac	Roquaizou	Rouveyrol	Ségala	Serre	Tantayrou	Verlenque
Date départ de la décrue :	01/05/04	30/04/04	02/05/05	30/04/04	30/04/04	30/04/04	30/04/04			01/05/05		30/04/04	30/04/04	30/04/04	30/04/04	30/04/04		30/04/04
Débit en m3/s :	0.24	0.962	0.08	0.21	1	0.46	0.338			0.191	1.75	0.75	0.382	0.99	2.3	0.5		0.325
Date fin du tarissement :	05/10/04	13/08/04	24/10/05	26/09/04	12/08/04	01/08/04	21/08/04			11/08/04	29/07/04	01/10/04	31/07/04	15/08/05	14/08/05	16/08/04		30/04/05
Débit en m3/s :	0.02	0.22	0.01	0.06	0.005	0.005	0.02			0.022	0.061		0.042	0.001	0.485	0.04	0.004	0.013
alpha :	0.0031	0.0021	0.0057	0.0035	0.018	0.0309	0.0155			0.0128	0.016		0.0118	0.0394	0.001	0.0176	0.0141	0.0025
eta :	0.04	0.037	0.0189	0.0303	0.037	0.0333	0.0323			0.0385	0.0333		0.0238	0.0625	0.0333	0.0345	0.0333	0.0435
epsilon :	0.588	0.714	0.04	0.126	1.84	0.641	0.317			4.549	0.537		0.12	2	0.731	0.907	1.05	2.114
Qr0 en m3/s :	0.032	0.275	0.027	0.101	0.033	0.088	0.115			0.082	0.254		0.26	0.038	0.541	0.258	0.018	0.019
Q0 en m3/s :	0.24	0.962	0.08	0.21	1	0.46	0.338			0.191	1.75		0.75	0.382	0.99	2.3	0.5	0.325
q0 en m3/s :	0.208	0.687	0.053	0.109	0.967	0.372	0.223			0.109	1.496		0.49	0.344	0.449	2.042	0.482	0.306
q0 en m3/s :	0.208	0.687	0.053	0.109	0.967	0.372	0.223			0.191	1.496		0.49	0.344	0.449	2.042	0.482	0.306
Q0 en m3/s :	0.24	0.962	0.08	0.21	1	0.46	0.338			0.191	1.75		0.75	0.382	0.99	2.3	0.5	0.325
Q'0 en m3/s :	3	0.26	0.02	0.09	0.02	0.035	0.071			0.059	0.157		0.158	0.02	0.525	0.155	0.012	0.018
ti en jours	25	27	53	33	27	30	31			26	30		42	16	30	29	30	23
V dyn. en m3 :	911 000	11 100 000	411 000	2 500 000	156 000	247 000	641 000			555 000	1 370 000		1 900 000	82 400	45 500 000	1 270 000	112 000	658 000
V' dyn. en m3 :	844 000	10 500 000	304 000	2 220 000	96 000	97 900	397 000			398 000	847 000		1 150 000	43 800	44 100 000	761 000	73 600	621 000
v inf. en m3 :	59 000	180 000	77 000	77 000	140 000	110 000	99 000			7 900	490 000		410 000	39 000	120 000	470 000	100 000	37 000

5.1.3.1 Les coefficients de tarissement

Les coefficients de tarissement sont compris entre 0.013 et 0.020 j^{-1} (cf. graphique ci-dessous qui représente la décroissance des débits par rapport au temps suivant la valeur du coefficient de tarissement).

Les coefficients les plus bas concernent les sources suivantes : Verlenque, Bastide, Cayrac, Beldoire. Ces coefficients bas sont à corrélérer avec un rôle régulateur important du système karstique

Les coefficients les plus élevées concernent les sources de Roquaizou et Duc.

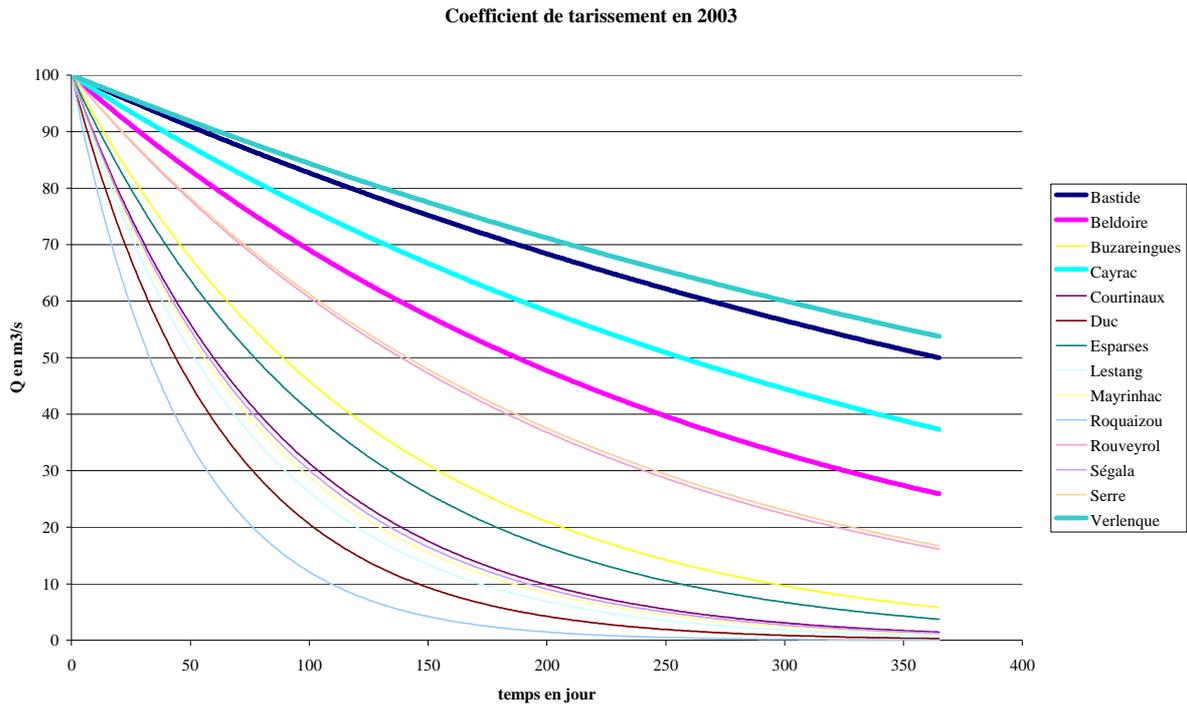


Figure 138 : Coefficient de tarissement en 2003

Les variations du coefficient de tarissement entre 2003 et 2004 pour une même station sont faibles, sauf pour quelques stations, où il augmente considérablement (Duc, Roquaizou, Serre (cf. graphique ci-dessous)).

Variation du coefficient de tarissement en 2003 et 2004

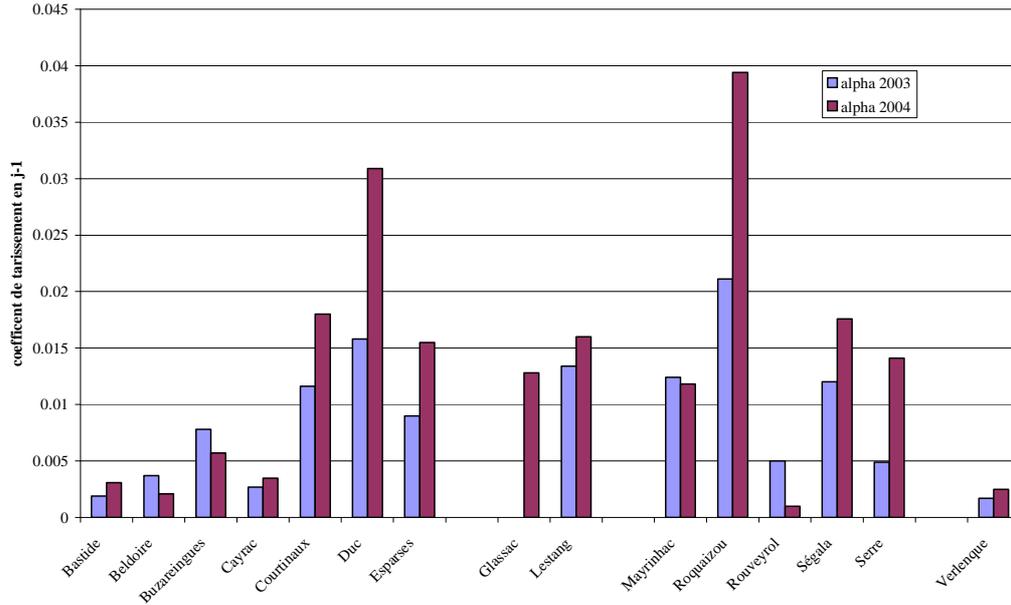


Figure 139 : Variation du coefficient de tarissement en 2003 et 2004

5.1.3.2 Volume dynamique

Les résultats montrent (cf. graphique ci-dessous) :

- Des volumes forts, supérieurs à 1.5 Mm³ pour Beldoire et Cayrac impliquant la présence de réserves souterraines considérables;
- Des volumes compris entre 0.5 Mm³ et 1.5 Mm³ pour Bastide, Lestang, Mayrinhac, Ségala et Verlenque ;
- Des volumes plus faibles, inférieur à 0.5 Mm³ pour les autres sources.

Volume dynamique

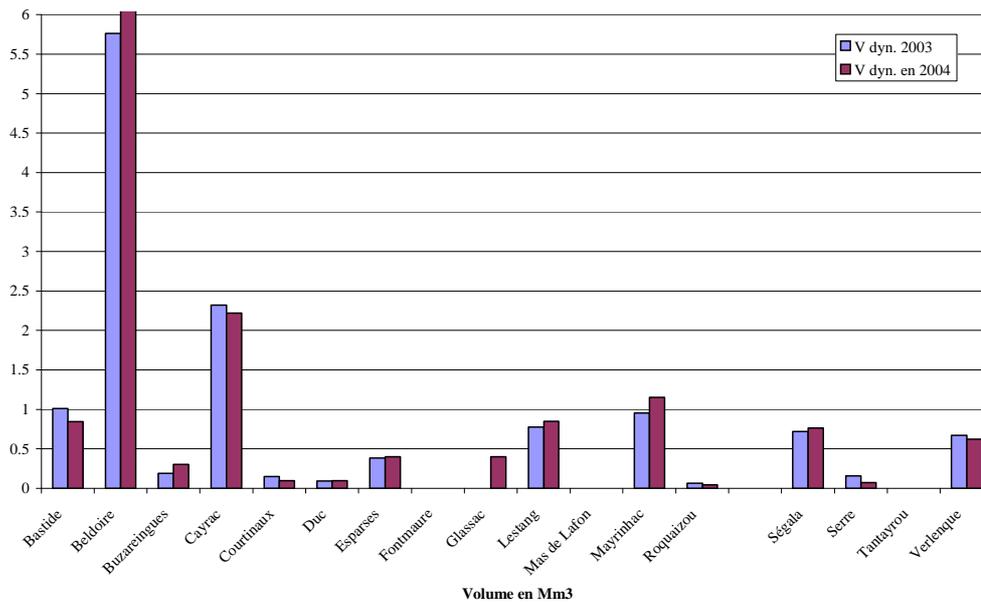


Figure 140 : Volume dynamique de différents aquifères

5.1.3.3 Une classification des systèmes

Rappel théorique sur cette classification :

Dans le but de comparer les systèmes karstiques en fonction des caractéristiques de leur zone d'infiltration et de leur zone noyée, une classification a été établie à partir des résultats de l'analyse des courbes de récession. Cette classification fait appel à deux coefficients : k et i .

k : il traduit l'aptitude du système à stocker les précipitations et à les restituer. Plus ce pouvoir régulateur est élevé, plus le coefficient k tend vers 1. Cette dernière valeur représente le cas des aquifères poreux où le volume dynamique est quasiment égal au volume en transit. Dans le cas des systèmes karstiques, k est en général inférieur à 0.5 et une valeur proche de 0 traduit un pouvoir régulateur négligeable.

i : ce paramètre traduit les retards à l'infiltration. Une forte valeur de i est significative d'une infiltration lente ou de l'influence d'un aquifère épikarstique. Une valeur faible de i est le signe d'un transit rapide des eaux vers la zone noyée.

Résultats :

Une classification des systèmes karstiques a été abordée pour 2004 (cf. figure 132).

Pour le domaine n° 4 correspondant à des systèmes karstiques très karstifiés en aval, domaine des réseaux spéléologiques très développés, on trouve les sources de Courtinaux et Roquaizou.

Pour le domaine n° 2 correspondant à des systèmes plus karstifiés à l'amont qu'à l'aval, avec des retards à l'alimentation dus à des terrains non karstiques, on trouve les sources du Duc, Ségala, Serre et Lestang ;

Pour le domaine n° 1 correspondant à des systèmes complexes, qui sont généralement les systèmes de grande taille et dont la structure est faite de nombreux sous-systèmes, on trouve les sources d'Esparses, Mayrinhac et Buzareingues.

Ces résultats doivent être pris très prudemment car fonction du seul cycle 2004. L'analyse de plusieurs cycles hydrologiques permettra de confirmer ou d'infirmer cette classification.

En revanche, 3 stations se situent au-delà de $k=0.5$ (Verlenque, Bastide, et Cayrac). Ce sont des sources proches, issues de la partie Nord-ouest du Causse de Masegros. Elles correspondent à des systèmes à comportement de milieu poreux avec un i croissant de Verlenque à Cayrac. Ces résultats doivent être vérifiés avec l'étude d'autres cycles hydrologiques.

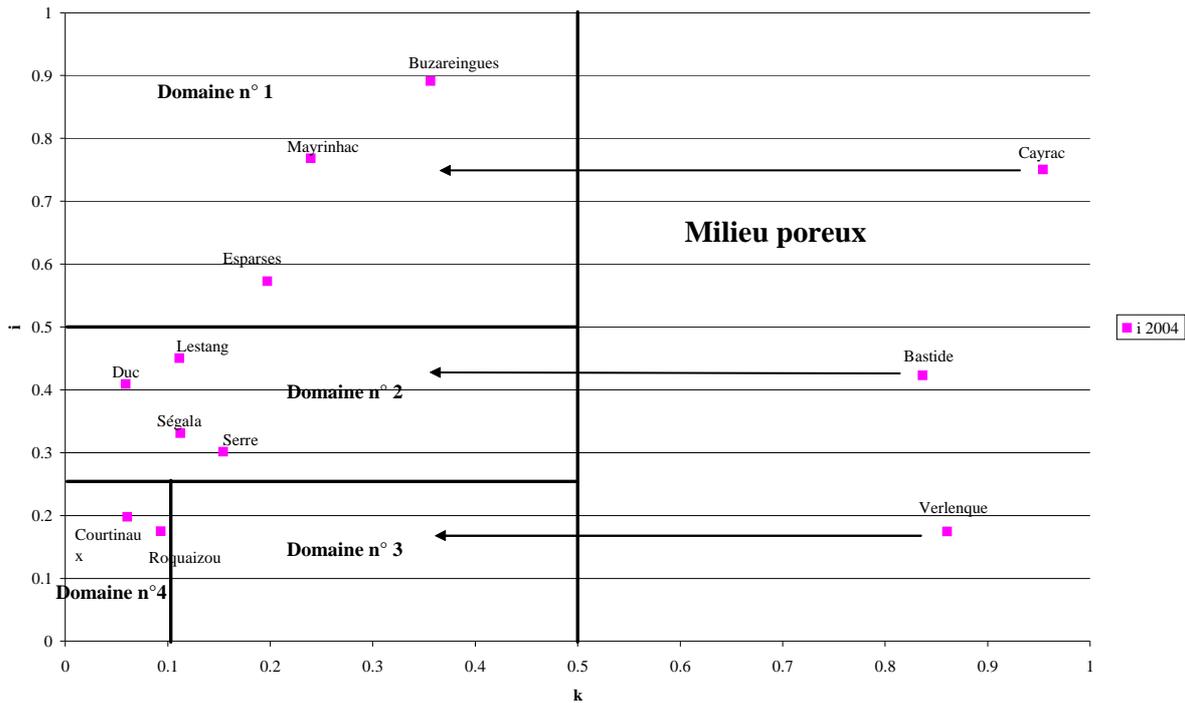


Figure 141 : Classification des systèmes karstiques étudiés

5.2 Analyse de l'hydrochimie

Le manque de données concernant la conductivité n'a pas permis d'établir de chronique de conductivités classées représentatives du fonctionnement sur un cycle hydrologique.

Par contre la concentration moyenne en HCO_3 des sources du karst de Sauveterre en étiage (317 mg.l^{-1}) est élevée par rapport aux concentrations connues sur d'autres régions karstiques, Jura (280 mg.l^{-1}), Fontaine de Vaucluse (260 mg.l^{-1}) et aussi le Larzac proche (250 mg.l^{-1}). Des teneurs supérieures à 350 mg.l^{-1} sont même atteintes pour les sources issues d'un réservoir dolomitique. Ces résultats font penser à des circulations assez lentes dans un réseau de drainage moyennement développé.

6 INCIDENCE DES ACTIVITES HUMAINES ET MESURES DE PROTECTION

6.1 Inventaire des activités potentiellement polluantes (pression anthropique)

Cette pression anthropique est marquée sur tout le territoire par l'élevage de la brebis et la culture de céréales.

L'habitat est regroupé au sein de quelques bourgs principaux et de plusieurs hameaux situés sur les Avants Causses et les Grands Causses.

Au niveau des infrastructures routières, le territoire est concerné par le passage de l'autoroute A75 et le projet de la Nationale 88 (cf. planche 7).

Un inventaire des activités potentiellement polluantes a également été réalisé :

- les stations d'épuration (données du SATESE) ;
- les ICPE (Installations classées pour la protection de l'Environnement recensées par la DRIRE)
- les décharges : données du Parc pour la partie aveyronnaise, et de la SDEE (Service Départemental de l'Equipement et de l'Electrification) pour la partie lozérienne ;
- les carrières (données du Schéma Départemental des Carrières et des communes pour l'Aveyron, et de la DRIRE pour la Lozère) ;
- les axes routiers actuels et futurs, les bassins de rétention de l'autoroute ;
- les exploitations agricoles (Chambre d'Agriculture, site Internet du recensement agricole, Schémas communaux d'Assainissement) ;

La synthèse de cet inventaire a été cartographiée et est présentée sur la planche 7.

L'agriculture

* Données générales par commune

L'intensité des activités agricoles peut être évaluée de façon globale à partir de la Surface Agricole Utile (SAU). Cette donnée est disponible par commune sur le site Internet du recensement agricole 2000.

L'élevage est plus important sur le Causse, et les cultures de céréales plus fortes sur les Avant Causses.

Ceci est cohérent avec la nature des sols, beaucoup plus propices à la culture de céréales sur les marnes que sur le plateau.

Ces données seront à mettre en corrélation avec les mesures physico-chimiques des sources, car ces deux types d'agriculture sont sources de pollutions distinctes.

* Données ponctuelles par exploitation

Les données ponctuelles ont un intérêt différent. Il est très intéressant de connaître le nombre, le type et la localisation précise des troupeaux et des salles de traite. Cela permet en particulier d'expliquer des pollutions ponctuelles, au même titre que les carrières ou les industries.

6.2 Apport de l'hydrochimie

Nous étudierons les marqueurs des pollutions anthropiques. Il s'agit des nitrates et des chlorures ainsi que des cations qui leur sont étroitement liés, respectivement le potassium et le sodium. Ces éléments sont déjà présents de façon naturelle dans les pluies avec des concentrations très faibles, toutefois multipliées par le rapport pluie totale sur pluie efficace (proche de 3) par suite de l'évaporation sur et dans le sol. Toutefois dans ce contexte de terrains calcaires et dolomitiques ce sont les activités humaines qui sont à l'origine des concentrations conséquentes.

6.2.1 Les campagnes générales, juin 2003 et mai 2004

Deux campagnes de prélèvements de toutes les sources identifiées avaient été prévues, une en condition d'étiage et l'autre en hautes eaux et ce pendant le suivi mensuel des sources d'ordre I et II programmé de septembre 2002 à août 2003.

Les nitrates

Les nitrates sont produits naturellement dans les sols par la minéralisation de la matière organique. Plus de la moitié des échantillons (51/92) a des teneurs en NO_3^- inférieures à 6 mg/l (cf. fig.). On peut considérer que cette valeur est le seuil au delà duquel se manifestent les impacts de l'activité humaine. On pense d'une part à l'utilisation des engrais en agriculture et d'autre part au déversement d'effluents d'origine animale ou humaine qui rejoignent par les avens, les circulations karstiques via les stations d'épuration ou même directement.

Les points d'eau ont été répartis en 5 classes suivant leur teneur croissante en nitrates et reportés avec une couleur correspondante sur la carte géologique où ont été mentionnées les principales pressions anthropiques (cf. fig.). On y observe que les sources qui jalonnent les rebords des plateaux karstiques jurassiques couverts de forêts et de pelouses sont exemptes de pollution par les nitrates. Les teneurs comprises entre 12 et 25 mg/l se localisent dans les dépressions liasiques des vallées de l'Aveyron et de la Serre (rebord de l'avant – Causse) qui sont des axes de communication et des zones de culture et d'urbanisation.

Il est difficile de faire la part de chacune de ces sources de pollution mais le fait que les concentrations en nitrates augmentent sauf rares exceptions avec les concentrations en chlorures indique plutôt l'impact des eaux usées agricoles et urbaines. Cinq sources seulement dépassent la teneur de 25 mg/l et semblent cumuler sur de petits bassins la proximité d'exploitations agricoles et d'une agglomération, Cornuéjols, Près de la route (Mostuéjols), Aveyron (Sermeillets) et Mont-Rouch 2. Seule la source perchée de Pertuzade, en bordure de poljé présente une teneur excessive dépassant les 50 mg/l.

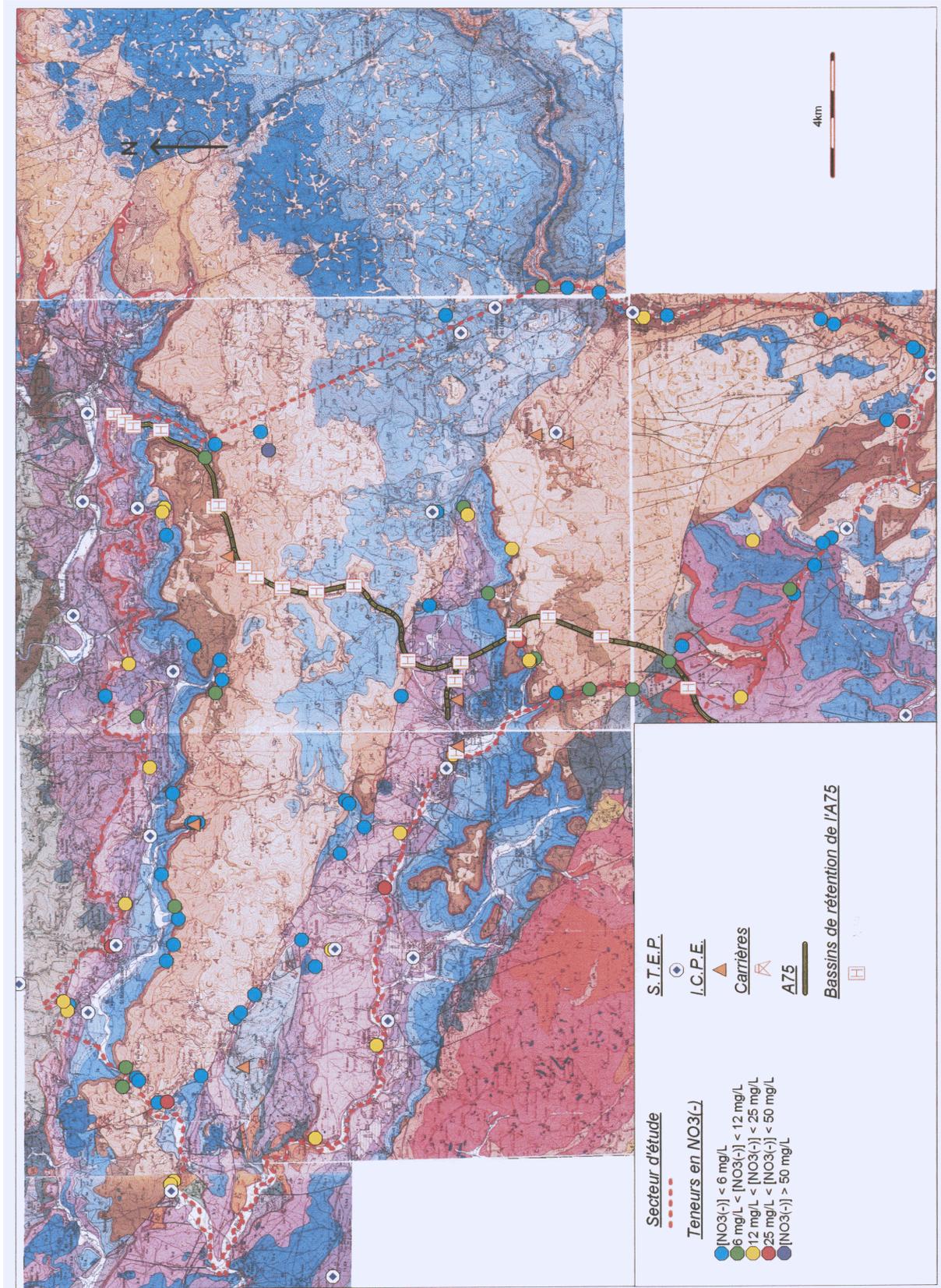


Figure 142 : Carte des teneurs en nitrates

Les chlorures

Le chlore n'est pas un constituant des roches calcaires en l'absence de faciès évaporitique. Un tiers des échantillons de la campagne d'été (32 échantillons) présente des teneurs en chlorures inférieures à 4 mg/l (cf. fig.) et on peut considérer que ces valeurs correspondent aux chlorures hérités des seules précipitations efficaces. Au delà de ce seuil se manifestent les impacts de l'activité humaine, faibles pour une majorité de sources (36 échantillons) avec des concentrations ne dépassant pas 8 mg/l, sensibles jusqu'à 12 mg/l, significatifs pour les échantillons dont les concentrations sont comprises entre 12 et 25 mg/l et importants voire excessifs pour les 5 échantillons dépassant 25 mg/l.

Les points d'eau répartis en 5 classes suivant leur teneur croissante en chlorures ont été figurés sur un fond géologique qui mentionne les principales pressions anthropiques (cf. fig.).

Les points à concentrations excessives se localisent à proximité d'un axe de communication et/ou d'une agglomération, indépendamment de la géologie.

Il existe une très bonne corrélation entre Cl^- et Na^+ indiquant un apport sous forme de chlorure de sodium. On verra sur la campagne de mai 2004 et sur l'échantillonnage plus homogène du suivi mensuel qu'il existe une bonne corrélation (0,69) entre chlorures et nitrates. Cette corrélation est à peine esquissée (0,35) sur la campagne d'été et de fait sur un diagramme nitrates – chlorures (cf. fig.) ceci s'explique par trois tendances d'évolution de ces éléments. La croissance simultanée de Cl^- et NO_3^- indique un impact des eaux usées d'origine humaine ou animale sur le système karstique. Une évolution verticale traduit l'apport unique de chlorures et donc l'impact du salage des routes et autoroutes, vraisemblable sur les sources de Roquaizou 2, Douzes ou Roque et plutôt du traitement par le chlorure ferrique des effluents de la station d'épuration du Masegros qui parviennent jusqu'aux sources de Rouveyrol et le Parisien. La position dans ce diagramme, bien en dessous de la tendance générale des sources de Pertuzade, et à un degré moindre de l'Aveyron ou de Bellas indique un impact très majoritaire de l'agriculture.

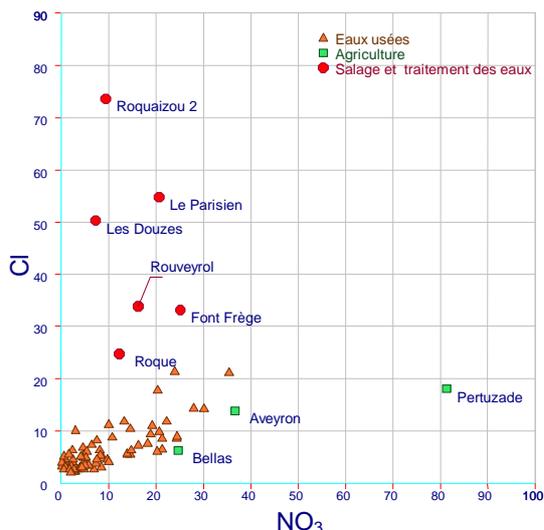


Figure 143 : Relation chlorures nitrates de la campagne d'été

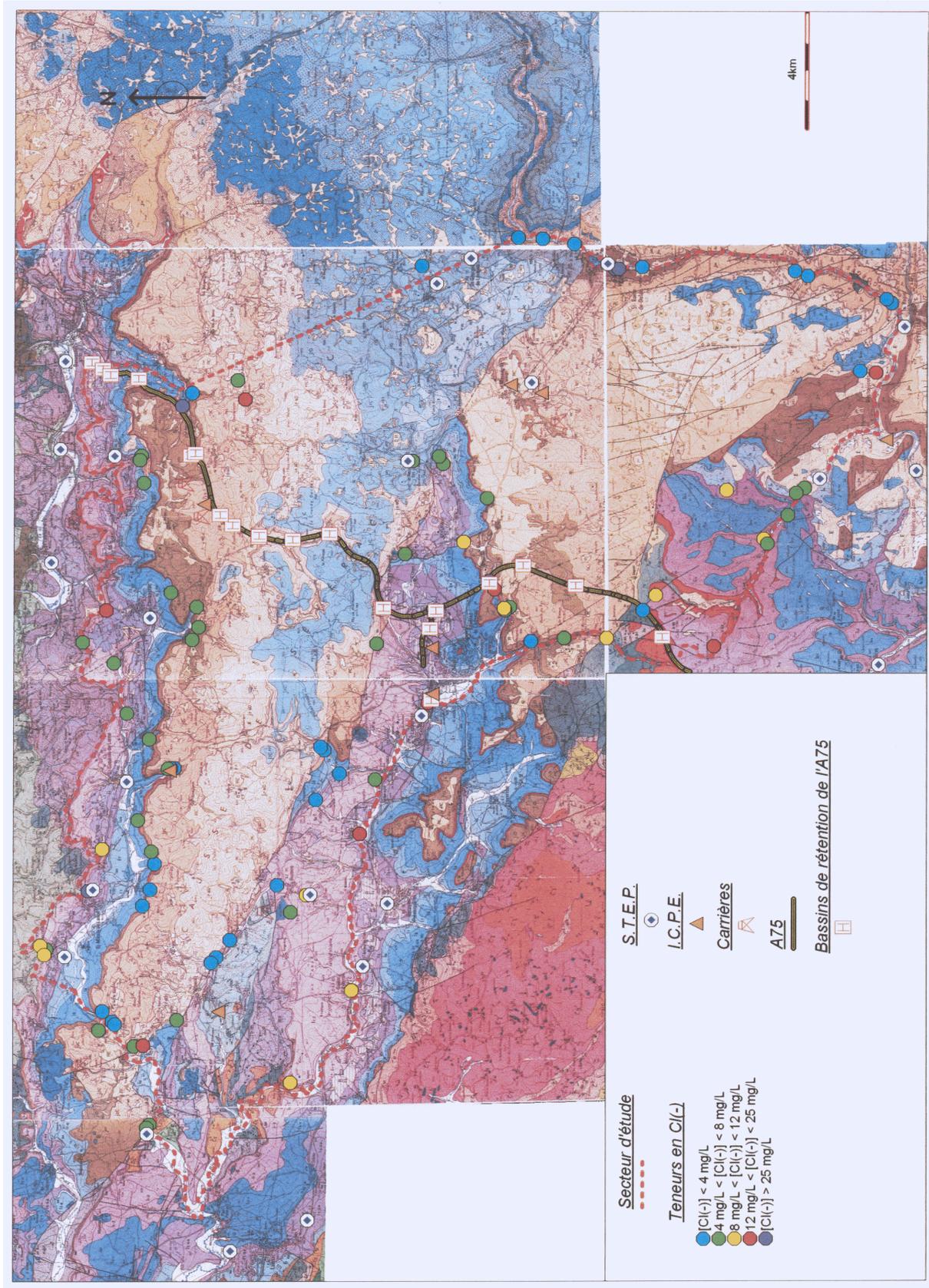


Figure 144 : Carte des teneurs en chlorures

Les alcalins : sodium et potassium

Le sodium est habituellement absent des calcaires et les teneurs des eaux du karst sont pauvres en sodium quand elles ne sont pas polluées.

Les teneurs de la campagne d'étiage sont effectivement faibles avec une teneur moyenne de 4,7 mg/l mais tirée vers le haut par quelques fortes concentrations car la médiane n'atteint que 1,8mg/l. Le fait que le sodium soit étroitement lié au chlorure et que les chlorures accompagnent souvent les nitrates dans leur croissance indique que le sodium a une origine anthropique au delà de l'apport naturel par les précipitations qu'on peut estimer à 2 mg/l.

Parmi les points qui présentent des teneurs élevées en sodium (cf. fig.) deux s'écartent nettement de la relation chlorure – sodium et présentent des excès de chlorure. Ce sont les sources de Roquaizou 2 et des Douzes qu'on a supposé affectées par le salage des routes et autoroute. Il conviendrait de vérifier si ce salage s'effectue avec un mélange de sels (Na Cl + Ca Cl₂ ?).

Le potassium est généralement très peu abondant dans les eaux naturelles et particulièrement dans les eaux du karst. Les trois quarts des sources présentent effectivement des teneurs inférieures à 1 mg/l. Neuf sources ont des teneurs significatives qui dépassent les 5 mg/l et contiennent toutes des nitrates et des chlorures de façon excessive. L'origine anthropique du potassium est bien prouvée d'autant que quatre de ces sources présentent aussi des teneurs en phosphate qui dépassent le seuil de détection par chromatographie ionique et peuvent atteindre 2,1 mg/l à Pertuzade, 1,1 mg/l à Courtinaux et 0,9 mg/l à Fontfrège.

Il existe un lien étroit entre nitrate et potassium (cf. fig.) mais certains points comme les sources de Pertuzade et de l'Aveyron s'écartent de cette relation. Ce sont ces deux mêmes points qui se distinguaient sur un diagramme Na – Cl laissant supposer une source anthropique à dominante agricole. Si l'on considère que le potassium est facilement consommé et fixé dans les sols, il faut peut être rapprocher les très fortes teneurs en potassium à la proximité de la source de pollution et/ou à son introduction rapide dans le système par des pertes de surface.

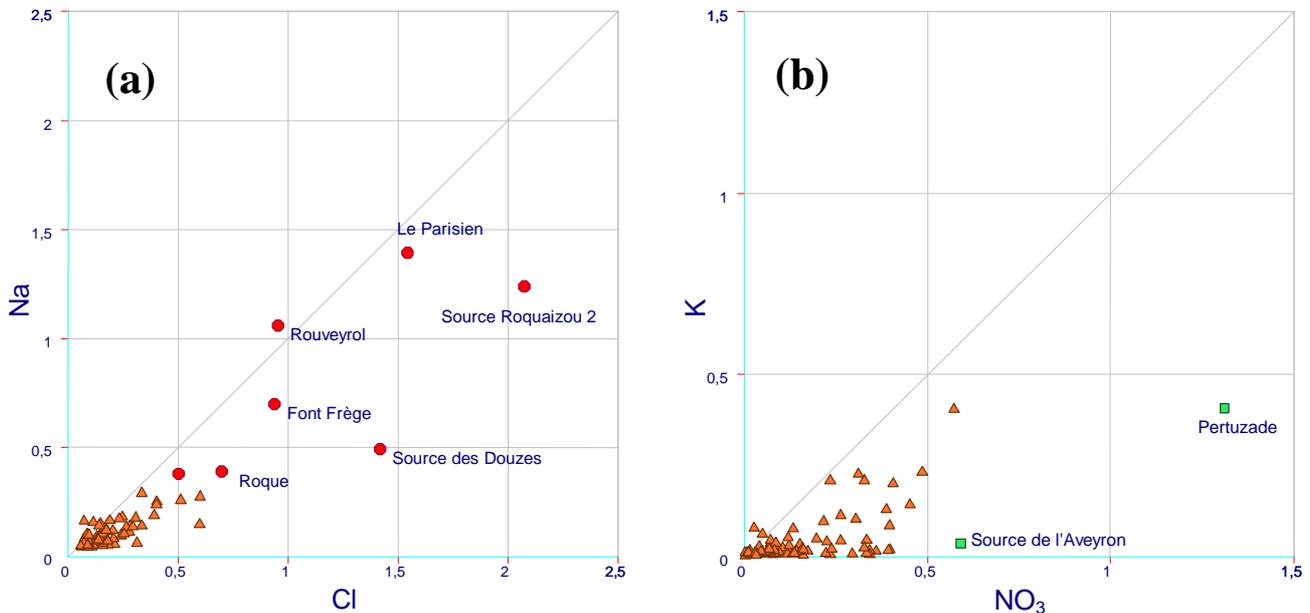


Figure 145 : Relations en meq/l entre chlorures et sodium (a), nitrates et potassium (b)

6.2.2 Le suivi mensuel sur un cycle hydrologique : septembre 2002 – août 2003

L'état des systèmes karstiques

En ce qui concerne les chlorures, les teneurs moyennes indiquent que deux sources sont totalement exemptes d'apports anthropiques, le Mas de Lafon avec la teneur la plus basse (2,5 mg/l) et Tantayrou. Elles indiquent que les sources de Ségala, Mayrinhac, Esparse, Lestang et Beldoire pour le Causse de Sauveterre et celle de Buzareingues avec des teneurs voisines de 4 mg/l le sont également. La pression anthropique est perceptible à Bastide, Cayrac et Duc (5,0 mg/l) et un peu plus à Verlenque, Glassac, Serre et Roquaizou (6,6 mg/l), mais l'atteinte reste faible. La source de Courlinaux (13,6 mg/l) est polluée par les chlorures et celle de Rouveyrol avec la teneur moyenne la plus élevée (21,9 mg/l) présente une pollution chronique.

La teneur moyenne la plus basse en nitrates est celle de la source du Mas de Lafon et cette valeur de 2,5 mg/l inférieure à celle attendue d'un bassin versant sans culture résulte peut être d'un début de dénitrification. Les teneurs des sources de Buzareingues (4,0 mg/l) et de Tantayrou (4,8 mg/l) sont encore très basses alors que celles de Roquaizou, Esparse, Serre, Mayrinhac, Beldoire, Lestang et Ségala entre 5,8 et 7,0 mg/l sont celles attendues de systèmes dont les sols sont couverts de forêt et pelouse avec un minimum de culture. Les teneurs de Glassac, Duc, Bastide, Cayrac et Verlenque témoignent d'apports anthropiques significatifs en nitrates depuis les sols cultivés et/ou les eaux usées agricoles et urbaines car ces mêmes sources se distinguent déjà par leur teneur plus élevée en chlorures. Les teneurs en nitrates comprises entre 9 et 12 mg/l restent toutefois raisonnables. Les deux sources de Rouveyrol et de Courlinaux (teneur moyenne la plus élevée avec 17,9 mg/l) sont polluées par les nitrates comme elles le sont par les chlorures.

Les variations dans le temps et la vulnérabilité

Le classement des sources en fonction des teneurs moyennes en chlorures et nitrates rend compte de leur atteinte par les éléments anthropiques. C'est une première indication mais l'étude des variations même minimales des concentrations de ces éléments au cours d'un cycle hydrologique peut souvent permettre de préciser les raisons de l'état qualitatif d'un système et la manière dont les éléments anthropiques parviennent à l'exutoire.

- Leur absence peut en effet résulter de deux réalités de terrain, l'absence de pression anthropique sur le bassin versant ou / et la très bonne protection de l'aquifère.

- Leur présence renseigne sur la vulnérabilité du système mais la pollution peut se manifester, soit de façon chronique, ce qui indique l'atteinte de la qualité des réserves ou la permanence de fortes entrées polluantes dans le système karstique, soit de façon accidentelle ou répétitive et il est important de chercher un lien avec les éléments hydrologiques de surface.

Beaucoup de sources, celles qui sont exemptes d'atteinte anthropique par les chlorures comme le Mas de Lafon, Tantayrou, Esparse, Mayrinhac, Beldoire et même celles peu affectées comme Cayrac, Duc et Serre, présentent des teneurs constantes tout au long du cycle hydrologique. D'autres sources présentent des augmentations des chlorures lors des prélèvements de hautes eaux, à partir d'un bon état général comme à Buzareingues, Ségala et Lestang, à partir d'un état moyen comme à Bastide ou d'un état plus atteint par les chlorures comme à Glassac, Roquaizou et Verlenque. Ces « pics » se produisent en novembre et octobre 2002 et en janvier 2003, avec plus ou moins d'amplitude.

Enfin, les deux sources polluées, Courtinaux et Rouveyrol, connaissent à l'inverse des baisses de leurs teneurs en hautes eaux qui peuvent être interprétées comme la dilution par les eaux d'infiltration, d'un flux polluant entrant en permanence dans le système. Les variations importantes en étiage permettent d'écarter l'hypothèse de réserves de très mauvaise qualité.

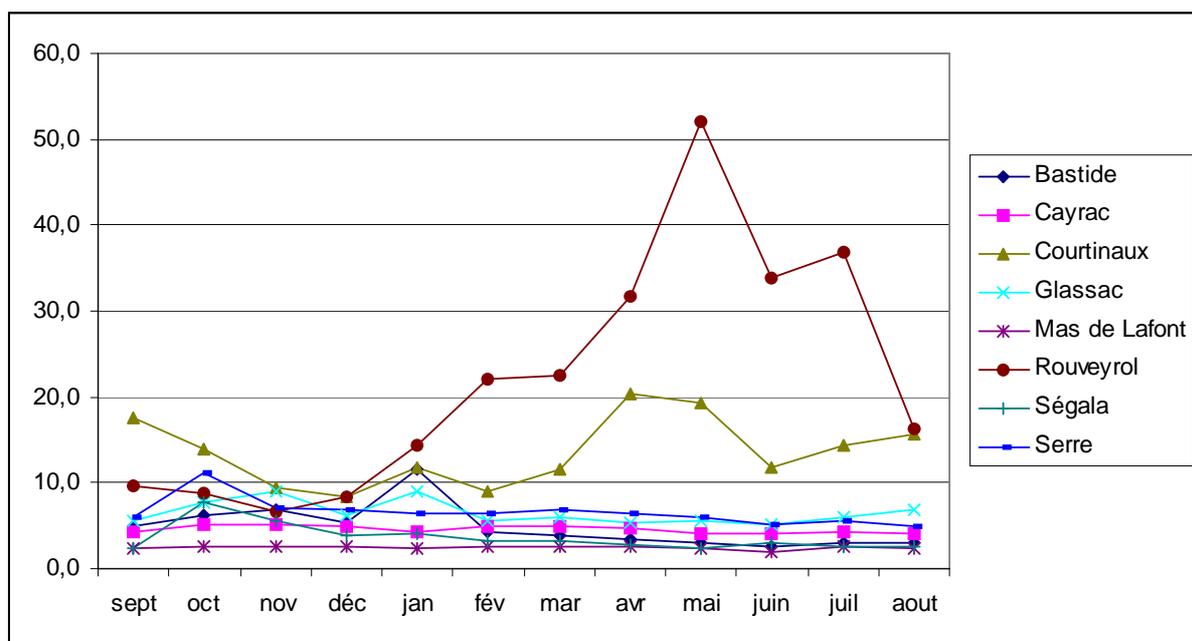


Figure 146 : Variations mensuelles des teneurs en chlorures

Peu de sources présentent une grande constance de leurs teneurs en nitrates. Ce sont celles du Mas de Lafont qui a une teneur anormalement basse, Serre, Roquaizou avec des teneurs proches des valeurs naturelles et Cayrac légèrement affectée (cf. fig.) Presque toutes les autres connaissent une augmentation des teneurs en nitrates surtout lors des premières crues d'automne en octobre, novembre mais aussi en décembre et janvier. Ces variations sont faibles à Tantayrou, Mayrinhac, Esparse, Beldoire qui ne sont pas ou peu atteintes, mais aussi à Duc et Verlenque un peu polluées. Ces augmentations sont importantes en octobre – novembre à Buzareingues et Ségala à partir de valeurs basses, à Bastide et Glassac de septembre à janvier à partir de sources plus sensiblement atteintes. La source polluée de Courtinaux connaît aussi de fortes valeurs de septembre à novembre mais à la différence des autres, également en avril et mai (cf. fig.). Celle de Rouveyrol la plus polluée accuse ses plus fortes teneurs de mars à août, en étiage, ce qui confirme la dilution d'un flux polluant par les hautes eaux d'automne et d'hiver.

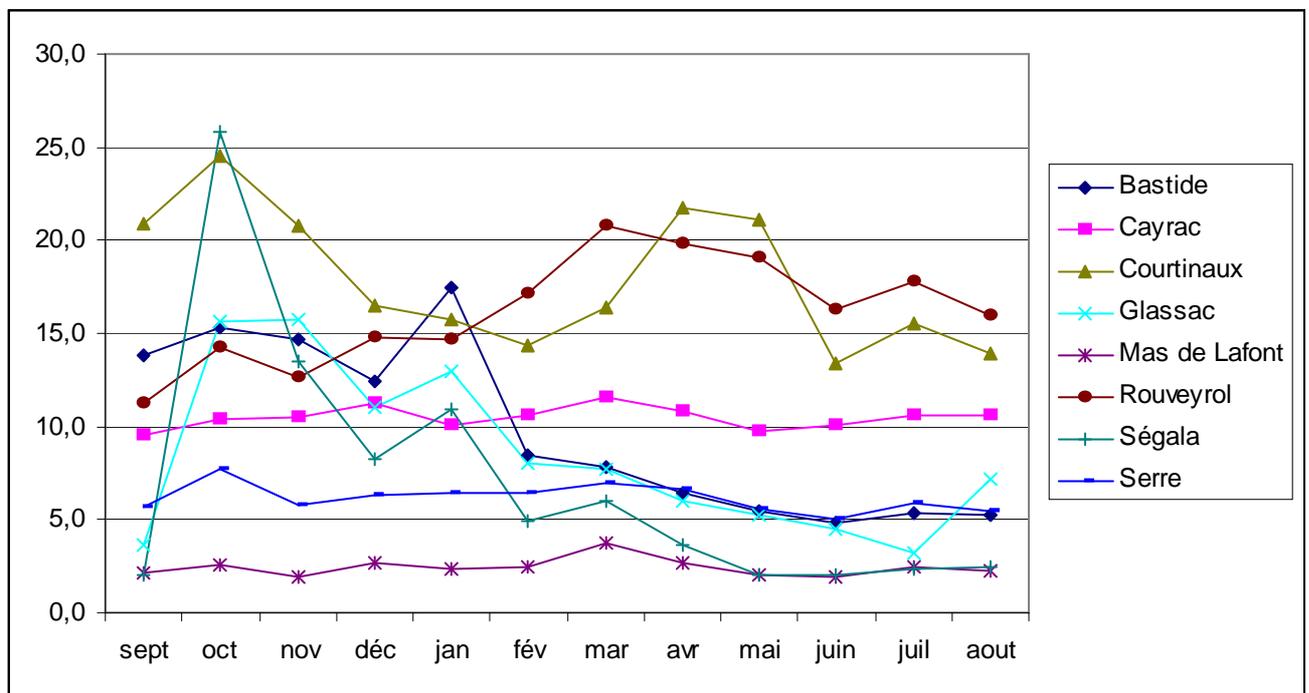
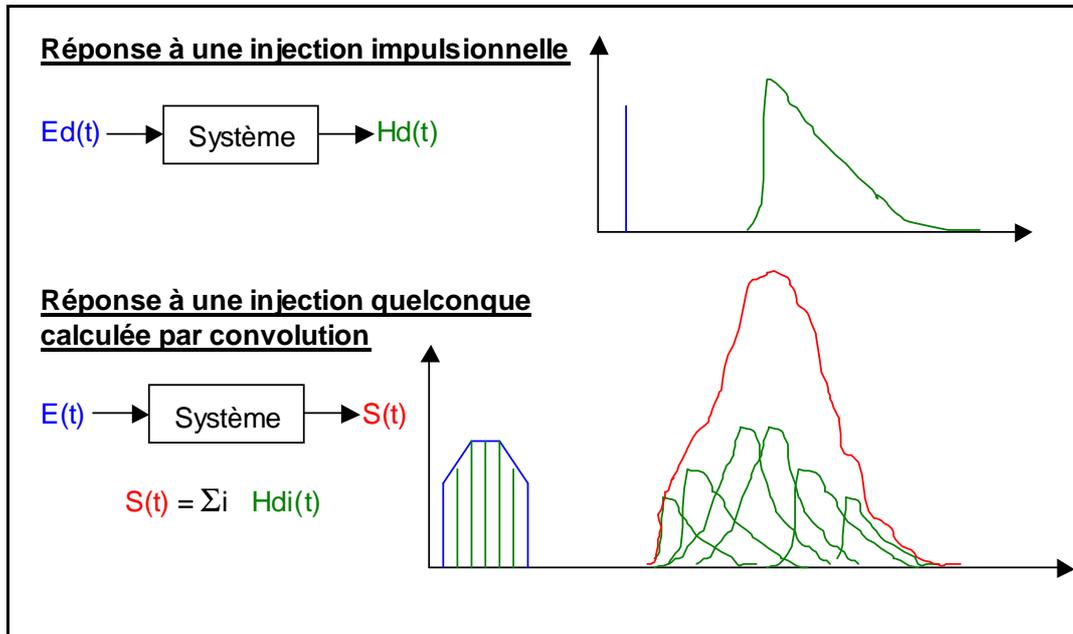


Figure 147 : Variations mensuelles des teneurs en nitrates

6.3 Apport des traçages

Les résultats des traçages et notamment la DTS (cf. description de la DTS en annexe) permet d'estimer la pollution potentielle pouvant arriver sur une source karstique et de connaître l'origine et la teneur du polluant en entrée du système. La méthode utilisée est la convolution.



Exemple de la STEP du Masegros et de la source du Rouveyrol :

Les concentrations en chlorures de cette source sont largement supérieures à celles des autres sources du causse de Sauveterre. Ceci est dû, *a priori*, au rejet de l'eau traitée par la STEP du Masegros, dans laquelle on utilise un polychlorure comme catalyseur à la floculation des boues.

Grâce aux mesures réalisées par Délia Poulain, en juillet 2003, et aux renseignements sur le fonctionnement de la station collectés auprès de M. Daudé, technicien de maintenance, nous avons pu comparer les résultats réels du relargage du chlorure dans le système aux résultats obtenus par convolution.

Ainsi, pour un débit moyen d'entrée dans le système de 9 l/s, on obtient une réponse du système avec un plateau maximal à 32,3 mg/l de chlorures à partir de la convolution. Or, nous avons observé des concentrations moyennes de 36 mg/l de chlorures à l'exutoire du système de Rouveyrol. On peut donc en conclure que la méthode des convolutions est une très bonne approximation pour le calcul de la réponse d'un système à un stimulus de polluant.

D'autre part, on peut affirmer que l'essentiel, voire pratiquement la totalité des ions Cl⁻ présents à l'exutoire de Rouveyrol provient de la STEP du Masegros, ce qui en fait la principale source de pollution du système.

Impact d'un accident de transport autoroutier :

Plusieurs bassins d'alimentations sont concernés par le passage de l'autoroute et les risques d'accidents, notamment ceux de Roquaizou, Beldoire, Cayrac. Grâce à la convolution, on peut prévoir l'impact d'un tel événement et ainsi, prendre les meilleures décisions sur l'arrêt de l'utilisation de la source pour la consommation humaine.

Une simulation a été réalisée à partir des résultats du traçage de l'aven du col de la Fagette dont le colorant est arrivé à la source de Beldoire (cf. V. Bailly-Comte, V. de Montety et D. Poulain 2003) et d'un accident concernant un camion transportant environ 1400 kg de produit toxique qui va se déverser en totalité dans l'aven.

Notons que ces hypothèses sont probablement pessimistes, car une fraction de la masse injectée pouvant être retardée, adsorbée ou dégradée au cours de son passage dans la zone non-saturée.

Nous obtenons une réponse du système 210 heures après l'accident. Le polluant va ainsi rester dans le système pendant environ 560 heures, soit 23 jours, avec un maximum des concentrations compris entre 10 et 12 mg/l du polluant pendant une période comprise entre 2 et 12 jours après l'événement.

On constate que la circulation souterraine dilue et étale, dans ce cas, la restitution du polluant. A priori, dans ce cas, les autorités devront suspendre le captage au moins pendant un mois pour éviter tout risque de contamination et/ou d'intoxication de la population.

6.4 La vulnérabilité des aquifères

(cf. planche 8)

6.4.1 Apport de la géomorphologie

6.4.1.1 Les pertes actives

Elles révèlent l'existence d'un drainage karstique hypogé plus ou moins organisé. Avec le creusement des canyons, les formes karstiques de surface tendent à se morceler et à s'approfondir. D'ailleurs, nombre de dolines coalescentes ne correspondent pas à des ouvalas dans le sens génétique du terme, mais plutôt à une multitude de points de soutirage qui désorganisent les anciennes morphologies planes.

La concentration de pertes ainsi que la fréquence d'apparition de points de soutirages traduit une certaine dynamique karstique. Elle matérialise l'organisation de plus en plus efficace des circulations karstiques et l'extension des surfaces drainées. Ainsi, les secteurs qui avaient pu conserver des fonctionnements reliques, grâce notamment aux couvertures d'argiles à chailles, enregistrent un nombre croissant de soutirages.

En outre, une perte karstique se met classiquement en place dans un secteur topographiquement en creux, capable de collecter un certain bassin versant. L'existence de formations peu ou pas perméables en amont contribue largement à l'apparition de pertes karstiques. Ailleurs, l'absence de couverture ne permet pas la concentration des eaux superficielles. Celles-ci s'infiltrant de manière diffuse à travers les multiples fissures de l'épikarst. Leur impact sur la morphogenèse karstique est quasi-nul et permet la conservation des très vieilles formes : c'est ce que l'on appelle l'immunité karstique.



Figure 148 : Photographie - Soutirage karstique dans les dolomies du Causse de Massegros (les Aubépinès). Il correspond à l'évacuation du grésou dolomitique.

Plusieurs types de pertes ont été définis en fonction du contexte lithologique, des formations superficielles concernées et des données morphologiques :

- Les secteurs dolomitiques sont généralement assez riches en cavités et en pertes. La profonde altération des dolomies les rend d'autant plus sensibles au soutirage karstique que le gradient hydraulique est marqué. Les pertes localisées dans les secteurs où le grésou dolomitique constitue l'essentiel des formations superficielles ont un bassin versant réduit. Elles sont rarement fonctionnelles du fait de la porosité du sable dolomitique qui ne favorise pas la concentration des eaux de surface.
- Les argiles à chailles sont associées à des formes plus amples. Leur forte teneur en argile permet l'étanchéification de la partie supérieure du karst et donc favorise la concentration des écoulements. Les pertes se situent en bordure de la couverture d'argiles à chailles ou dans les secteurs où le soutirage est très actif. Plusieurs pertes de ce type se situent le long de la bordure de corrosion du poljé de Massegros : aven du Massegros, perte de la doline du Massegros... De plus, ce secteur est drainé par la puissante source de Rouveyrol située plus de 400 mètres en contrebas. Le bassin versant de ces pertes est assez important puisqu'il concerne tous les ségalas ainsi que le fond du poljé.
- L'épaisseur des dépôts crétacés et leur forte teneur en argile favorisent également la concentration des eaux en surface. Ces formations concernent essentiellement le Causse de Séverac où deux types de contextes peuvent être isolés. La partie ouest, drainée par les sources qui sourdent en bordure du causse est assez pauvre en pertes. Ici, la différence d'altitude entre le fond des vallons fluvio-karstiques (où peuvent se concentrer les eaux superficielles) et les sources varie de 30 à 80

mètres d'ouest en est. Ce secteur n'est donc pas caractérisé par une verticalisation marquée du karst. En revanche, la partie orientale est drainée en direction du Tarn par une série de sources (Fontmaure, Pas-de-Soucy et Beldoire). De nombreuses pertes karstiques, notamment dans le vallon fluvio-karstique de Combelongue-Bonsecours montrent une certaine vigueur du soutirage karstique. Celui-ci est commandé par le niveau de base du Tarn, quelques 350 mètres plus bas.

- Le fond des maar constitue également un impluvium imperméable capable d'alimenter des pertes. C'est le cas de la perte de la Londe dans le sotch de soulage, mais également de la perte des Crozes. La fracturation du substrat lors de la mise en place de ces cratères d'explosion doit largement contribuer à la formation des pertes.
- Les cours d'eau allochtones de la partie ouest du Causse de Masegros sont absorbés dès leur arrivée sur les formations carbonatées (perte des Sagnes, perte de Novis). Ici, l'existence d'une zone broyée liée à la faille des Palanges ainsi qu'un important gradient hydraulique, aussi bien vers la source de la Bastide (Aveyron) que vers celle du Rouveyrol (Tarn), contribuent à la formation de pertes. Leur bassin versant concerne toute la bordure sud du plateau caractérisé par les affleurements de Trias et de Permien.
- Enfin, sur les Avant Causses, plusieurs pertes se localisent au pied des versants marneux. Ceux-ci jouent le rôle d'amont imperméable et les écoulements se perdent à leurs arrivées sur le revers structural sous-tendu par les calcaires et les dolomies liasiques. Ce sont par exemple les pertes signalées par les spéléologues au sud de Campagnac, à l'est de St-Saturnin-de-Lenne ou du Trou du Souci au sud de Pierrefiche.



Figure 149 : Photographie - La perte des Sagnes absorbe les écoulements issus des versants permo-triasiques. Les eaux enfouies dès leur arrivée sur les calcaires résurgent à la source de Rouveyrol (Les Vignes).

D'autres pertes existent aussi en dehors de ces contextes précis. Toute doline dont le fond est un tant soit peu imperméabilisé est capable d'alimenter, au moins temporairement, une perte karstique. En réalité, il existe un grand nombre de pertes que les activités agricoles et les pratiques caussenardes se sont évertuées à colmater plus ou moins efficacement.

6.4.1.2 Le rôle ambigu des formations superficielles

Les formations superficielles ont souvent été considérées par les aménageurs comme une protection pour les eaux souterraines, soit comme filtre, soit comme couche imperméable permettant de retenir les effluents pollués en surface. C'était sans compter sur leur extrême variabilité et, dans certains secteurs, leur grande fragilité.

Nous reprendrons ici les cinq grands types de formations superficielles répertoriés dans le secteur étudié :

- Le grésou dolomitique est extrêmement poreux. Il est également très sensible au soutirage. Nombre de fractures altérées et remplies de grésou descendent directement jusqu'au niveau de base karstique. Ainsi, même s'il peut y avoir une forte épaisseur de grésou, ces secteurs peuvent être considérés comme très sensibles à toute pollution.
- La couverture d'argiles à chailles est une formation des plus pernicieuses. Elle offre l'aspect d'une couverture épaisse et étanche capable de maintenir une pollution en surface. En fait, son imperméabilité permet la concentration des eaux et des polluants. Ceux-ci sont ensuite absorbés de manière massive et sans la moindre filtration par une série de pertes.
- Les dépôts crétacés offrent localement une des meilleures protections. Leur épaisseur et leur consistance sableuse concourent à une infiltration lente, et donc à une pollution moindre des aquifères. Néanmoins, lors d'épisodes pluvieux exceptionnels, la formation de véritables rivières et leur enfouissement massif, comme dans la vallée de Combelongue-Bonsecours, élimine toute possibilité de filtration.
- Enfin, les dépôts allochtones de la partie occidentale du Massegros, tout comme les formations résiduelles des avants-causses, n'offrent aucune protection pour les eaux souterraines. Leur épaisseur souvent faible n'entrave que très ponctuellement l'absorption des écoulements superficiels par le karst.

Outre la constitution des formations superficielles et leur épaisseur, la notion de dynamique karstique introduit une variable de taille dans l'appréciation de leur rôle. L'ensemble du secteur drainé par le bassin versant du Tarn est caractérisé par un fort gradient hydraulique entre la surface et le niveau de base. De fait, les formations superficielles perchées 200, 300 voire 400 mètres au-dessus du niveau des circulations sont en position précaire. Il semble d'ailleurs possible d'envisager, compte tenu de la structure et de la différence d'altitude des différents exutoires, que le bassin versant du Tarn bénéficie d'une dynamique bien plus importante que le bassin versant de l'Aveyron. Il est donc prévisible, en l'absence d'obstacle structural ou lithologique de taille, que l'hydrosystème karstique du Tarn capture progressivement celui de l'Aveyron, dont la plupart des sources sont bloquées au toit des marnes du Lias. Ceci devrait se traduire en surface par un soutirage accru et par un démantèlement des formes karstiques planes au fur et à mesure de son extension vers le nord et l'ouest.

6.4.1.3 Conclusion

Les formations superficielles sont concernées au premier chef par les activités humaines. Ainsi, en fonction des conditions de leur mise en place et de l'histoire dont elles témoignent, elles vont avoir une réaction plus ou moins marquée à toute sollicitation.

L'homme, par sa présence sur le Causse depuis plusieurs milliers d'années (Ambert *et al.*, 1989), a participé à l'évolution des paysages caussenards. L'étude de sites archéologiques fixe, par l'appoint de données chronologiques précises, quelques étapes de cette évolution pendant le Quaternaire. Actuellement, la pression anthropique, bien que pondérée par la très faible densité humaine, reste sensible, en particulier au niveau de la qualité des eaux souterraines. La présence humaine, s'accorde le plus souvent avec l'existence de sols propices à l'agriculture et donc avec la présence d'une couverture meuble. De fait, les secteurs dolomitiques accidentés par les méga-lapiès et affectés par le soutirage karstique connaissent une faible occupation. De même, sur une grande partie du Causse de Sévérac, l'incidence des activités humaines est assez faible. L'importance des dépôts crétacés qui occupent le fond des dépressions, là où se concentre l'essentiel de l'activité agricole ainsi que le gradient hydraulique relativement faible confère à ce secteur une sensibilité moindre. Bien sûr, comme il est de règle dans le domaine karstique, toute pollution d'envergure se retrouvera plus ou moins rapidement à l'exutoire. Les argiles à chailles constituent des sols profonds et les paysages bocagers qui s'y trouvent contrastent fortement avec l'aridité des autres secteurs. L'activité humaine s'y concentre depuis des milliers d'années (Bruxelles, 1997) et les premiers déboisements sur les ségalas ont provoqué d'importants phénomènes de colluvionnement en direction des points bas. Une partie de la couverture d'argiles à chailles a donc été restaurée à cette époque, masquant l'existence de dolines et d'avens (Bruxelles, 2001). Cet héritage, ainsi que la tendance à la verticalisation du karst rend cette couverture extrêmement sensible. Ainsi, toute concentration de l'eau en surface tend au débouillage du karst sous-jacent. Plusieurs exemples récents, notamment pendant les travaux de l'A 75 au niveau de l'Hospitalet-du-Larzac, sont venus illustrer ce postulat. En outre, le remembrement, qui a fait disparaître tout ce qui pouvait favoriser l'infiltration diffuse, l'existence de grandes surfaces imperméabilisées (parking, voirie), ainsi que le rejet des eaux usées contribuent au décolmatage et à l'absorption massive d'effluents pollués.

Les propositions de mesures de protection sortent un peu de notre domaine de compétence. La solution idéale serait, bien entendu, d'éviter tout rejet polluant sur les Causses ou de les contenir dans des bassins dûment étanchéifiés. Une attitude intermédiaire consisterait à éviter toute absorption massive par le karst et donc toute concentration des eaux en surface, a fortiori dans les secteurs où les manifestations de la dynamique karstique s'expriment clairement. Enfin, la construction d'un mur étanche autour des entrées de certaines pertes, voire leur colmatage, permettrait d'éviter que les effluents n'atteignent trop rapidement le niveau de base. Toutefois, la dynamique conquérante du bassin versant du Tarn au niveau du Causse de Massegros et dans la partie orientale du Causse de Sévérac laisse présager un soutirage grandissant des formations superficielles, notamment là où l'homme a concentré l'essentiel de son activité.

6.4.2 Etablissement d'une carte de vulnérabilité intrinsèque

6.4.2.1 Préambule

L'une des particularités des Causses de Sauveterre et de Séverac, est la quasi absence de végétation dans certaines zones, d'horizons pédologiques (mise à part la terra rossa) et la présence de nombreuses fractures, diaclases, fissures ouvertes dans la zone superficielle (épikarst), pouvant favoriser une infiltration plus rapide de l'eau vers les axes de drainage. Il ne faut tout de même pas perdre de vue que l'épikarst joue un rôle de tampon, donc malgré le contexte général tendant à favoriser une infiltration plus rapide, elle n'en reste pas moins lente. C'est cette caractéristique qui rend l'aquifère vulnérable à la pollution.

Pour estimer les risques potentiels encourus, des expériences de traçage ont été réalisées afin de se faire une idée sur les liens pertes-résurgences et sur le temps de transfert d'une éventuelle pollution à travers le temps de restitution du traceur.

Les vitesses d'écoulements ainsi mesurées sur les Causses sont assez élevées, souvent de l'ordre de la centaine de mètres à l'heure. Certaines distances parcourues entre l'infiltration et les résurgences peuvent être assez grandes comme par exemple la distance entre la perte de Bonsecours et la grotte-résurgence de Fontmaure dans les gorges du Tarn qui avoisine les 15 km.

Tout ceci montre que l'aquifère est assez vulnérable, et que si un jour, un accident chimique devait se produire, la zone contaminée ne se limiterait pas seulement aux alentours du lieu de l'accident, mais pourrait avoir des conséquences assez grave sur l'ensemble ou du moins sur une partie des Causses. Certaines sources étant captées en AEP, la situation pourrait devenir rapidement critique, laissant ainsi des villages sans eau pendant une période indéterminée, surtout si les polluants se mélangent aux réserves de la zone noyée.

Toutefois, les risques sont vraiment très limités car la source principale de pollution de ces aquifères karstiques est la pollution bactériologique (les risques de pollution chimique étant très réduits du fait d'activités humaines elles-mêmes réduites). La conductivité hydraulique étant forte, l'eau est n'est pas du tout filtrée, expliquant ainsi que la majorité des émergences karstiques sont de qualité bactériologique médiocre.

Ceci montre qu'il est nécessaire de protéger l'aquifère karstique depuis son bassin d'alimentation et de prévenir, limiter les flux de pollution et de contamination à partir des sites d'activités.

6.4.2.2 Méthodologie utilisée

Une carte de vulnérabilité est souvent établie à partir de critères intrinsèques du milieu karstique : géologie, conditions d'infiltration et morphologies karstiques. Récemment, la méthode RISKE a été définie par PETELET et al (2000) puis appliquée à certains systèmes karstiques. Elle utilise les critères R : Roche, I ; infiltration, S : sol, K : karstification, et E : épikarst.

Il apparaît au travers de cette méthode et de ses applications que le critère I est primordial : facteur décrivant la plus ou moins grande facilité que possède un polluant à rejoindre le

réservoir aquifère. Les autres critères, notamment les critères K et E sont souvent mal connus même à travers les résultats de l'hydrodynamique, l'hydrochimie et les traçages.

Le but étant de proposer des zones de protection pour l'hydrogéologue agréé, il a été décidé de prendre en compte des paramètres bien connus et géoréférençables facilement qui caractérisent cette infiltration.

C'est pourquoi, il a été choisi les paramètres suivants :

- la couverture : absence ou présence ;
- la présence de vallon fluvio-karstiques : indice d'écoulement ancien superficiel, et indice d'écoulement souterrain préférentiel;
- la présence de dépressions : dolines, lapiez : indice d'une infiltration plus ou moins rapide suivant la présence de formations superficielles plus ou moins épaisses;
- les pertes avérées : zone d'infiltration rapide qui doivent être intégrée dans un périmètre de protection immédiate ;
- l'occupation du sol : 2 catégories de données sont utilisées ; forêt et pelouse, cultures et prairies. Ce paramètre a également été retenu car il conditionne la vulnérabilité de l'aquifère karstique aux pollutions.

Ces paramètres intègrent essentiellement les critères I et S.

Une carte de vulnérabilité et une carte des dangers (croisement de la vulnérabilité et de la pression anthropique) ont été réalisées.

Pour la vulnérabilité, une pondération a été effectuée suivant les paramètres utilisés. Cette pondération est une proposition, elle peut évoluer et être reprise dans le cas d'études hydrogéologiques plus précises sur un territoire.

Pondération mise en œuvre (plus le chiffre est élevé, plus la vulnérabilité est importante) :

- la couverture : absence = 2 ou présence = 0 ;
- vallon fluvio-karstiques : absence = 0 ou présence = 3 ;
- dépressions : absence = 0 ou présence = 4 ;
- les pertes avérées : absence = 0 ou présence = 5 ;
- occupation du sol : forêt et pelouse = 0, cultures et prairies = 1.

Les résultats de cette pondération sont affichés sur la carte vulnérabilité (cf. planche n° 8).

6.5 Propositions de zones de protection

(cf. planche 8)

Par défaut, il est bien évident qu'une zone de protection immédiate doit être effective au niveau du captage, ainsi qu'une zone de protection rapprochée autour de celui-ci.

Pour ce qui est du reste du bassin : plusieurs classes de vulnérabilité ont été déterminées, elles vont de la valeur 0 à la valeur 11.

La valeur 11 correspond à une vulnérabilité forte par rapport essentiellement au critère infiltration. Ce sont les pertes qui sont mises en évidence à ce niveau ; elles correspondent à une infiltration rapide qui peut s'effectuer en quelques heures voir quelques jours. Ce niveau pourrait être proposé comme **Zone de protection immédiate satellite**.

En ce qui concerne les autres zones de protection, il est évident que l'hydrogéologue agréé doit définir un périmètre de protection rapprochée et un périmètre de protection éloigné.

En effet, pour l'ensemble des sources concernées, la présence d'un écoulement permanent en période estivale indique des temps de séjour assez long au sein de l'aquifère, de l'ordre de l'année. Des précipitations dans une zone éloignée du bassin d'alimentation vont donc mettre un certain temps avant d'arriver à l'exutoire. Cette régulation est bien sûr aussi influencée par les systèmes annexes au drainage qui permettent une alimentation continue du drain karstique principal.

Les niveaux 0, 1 et 2 pourraient être proposés en zones de protection éloignée. Zone de protection éloignée, car il faut en effet définir une zone de protection sur la partie la moins vulnérable vis-à-vis de l'infiltration, mais qui est tout de même vulnérable vis-à-vis des pollutions. Une contamination dans cette zone pourrait être en partie filtrée et épurée mais pourrait contaminer à plus ou moins long terme la ressource en eau de façon diffuse.

Les niveaux 3 à 10 pourraient être proposés en zone de protection rapprochée.

7 BIBLIOGRAPHIE

7.1 Sur la zone d'étude

7.1.1 Rapports ayant servis à l'élaboration du rapport final

- Etude l'étude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, Laurent BRUXELLES et Aimé MALLET, MSI, avril 2004 ;
- Etude géologique et tectonique du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, Stéphane BRUSSET, Université Paul Sabatier, avril 2004 ;
- Volet stratigraphique de l'étude géologique et tectonique du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, , Stéphane BRUSSET, Université Paul Sabatier, avril 2004 ;
- Apports des traçages, Michel LEPILLER, Laboratoire d'Hydrogéologie - Polytech' Orleans - Ecole Polytechnique de l'université d'Orléans, mars 2006 ;
- Etude hydrochimique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avant Causses, Laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Bernard BALVOUX, Roland SIMLER, Michel DANIEL, Thibaut BLONDEL, octobre 2005.
- Contribution à l'étude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre, caractérisation de l'altération de la qualité de la ressource en eau des systèmes karstiques du Causse de Sauveterre, Thibaut BLONDEL, rapport de l'école polytechnique d'Orléans, août 2004 ;
- Synthèse des données hydrodynamiques relatives aux aquifères karstiques du ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, Alexandre SEIDEL, Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes, octobre 2004 ;
- Contribution à l'étude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et étude des modalités et de circulation des eaux dans la zone non saturée par comparaison des informations fournies par les traceurs chimiques naturels et anthropiques (ions majeurs) et les traceurs fluorescents sur les systèmes karstiques de la partie ouest du Causse de Sauveterre, Délia POULAIN, Polytech'Orleans – Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux, août 2003 ;
- Participation à l'étude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses : détermination de systèmes hydrogéologiques karstiques à l'aide de campagnes de multitraçages, étude de l'influence de la nature du milieu sur le transit de divers traceurs fluorescents par multitraçages simultanés, Véronique de MONTETY, Polytech'Orleans – Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux, août 2003 ;
- Etude hydrogéologique de l'Ouest du Causse du Massegros et participation à l'étude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, Vincent BAILLY-COMTE, Polytech'Orleans – Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux, août 2003 ;
- Etude du fonctionnement hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, Benjamin GARY, mémoire de DEA Université Paris Sud, juillet 2003 ;
- Pré-étude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, Marc THIEBOT, ENS Géologie à Vandoeuvre, septembre 2001 ;
- Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avants-Causses, Alexis ROBERT, DESS Risques Géologiques, Imagerie du Sol et du Sous-sol et Cartographie, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, septembre 2002.

7.1.2 Eléments disponibles à la Maison du Parc naturel régional des Grands Causses

AUTEUR	DATE	TITRE	CONTENU, COMMENTAIRES....
Agence de l'eau Adour Garonne	2001 ou 2000	Synthèse de la réunion du 9/02 : protection de la source de Cayrac et forages dans la nappe alluviale du Tarn	
AGRESTE	2000	RA 2000	nb exploitation, sau, labours, herbe, vaches, exploitants
Article de journal - D. Pagès	2002	Fontaine, je ne bois pas toujours de ton eau	Source du Rouquet - problèmes quantitatifs - raccordement au réseau de Sévérac
Bernard LOISELEUR	1997	Genèse de la dépression de soulage - une explication nouvelle	argumentation de l'origine volcanique de certaine "dolines"
Blayac	1923	Sources de l'Aveyron...	sources de Cayrac, de l'Aveyron et de la chapelle Saint Chély
BRGM	1987	Protection des captages AEP situés en domaine calcaire, causses majeurs de la Lozère	cause de Sauveterre : 34 sources recensées (Q, T, ro, altitude, utilisation) et 15 pertes et grottes
Bureau de recherche et de prospection géophysique - GEO ETUDES	2003	Site de Cayrac - Reconnaissance géophysique par la méthode de l'imagerie électrique	Etude géophysique pour l'implantation d'un forage d'essai à Cayrac
cabinet Couet	1998	SDA cantonal du Massegros	extraits : pop, agriculture, réseaux
Cabinet Gaxieu - SIAEP du causse du massegros	2003	Renforcement et diversification des ressources en eau - captage de la nappe alluviale des Vignes - Dossier d'enquête publique	Analyses chimiques - caractéristique des ouvrages - essais de pompage - prospection électrique
cabinet Gaxieu pour le SIAEP du causse de Massegros	2000	renforcement et diversification des ressources en eau, captage de la nappe alluviale des Vignes, APD	risques (contexte environnemental, économique et activités) et mesures de protection pour l'aquifère alluvial, estimatif
chambre d'Agriculture 12	2001	inventaire des exploitations agricoles	fichier excel = SIG + nom proprios
compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne	1998	barrage de Vimenet dossier préliminaire annexe étude hydrologique	délimitation du projet et du bassin versant du Cuge étude des apports, extrapolation à partir des données de la Serre étude des crues
Conseil général de Lozère	juin- 01	l'assainissement en Lozère	carto des step, caractéristiques des step carto des SDA, devenir des boues tableaux récapitulatifs STEP
DAEE, service environnement			
DDE 12	1995	A75 Sévérac Nord - AVENS	Croquis et localisation d'avens

DDE 12 (SIEE)	1992 A75 Contournement de Séverac le Château Dossier d'enquête hydraulique	délimitation des bassins d'alimentation et dimensionnement des ouvrages hydrauliques impact sur les rivières
eau et geoenvironnement SIAEP du causse du Massegros	2000 Dossier préalable à l'intervention de l'hydrogéologue agréé projet de prélèvement d'eau souterraine forage en nappe alluviale, Les Vignes, 48 (extraits)	données complètes sur la nappe alluviale : essais de pompage etc...
eau et geoenvironnement SIAEP du causse du Massegros	oct-95 Demande d'autorisation de prélèvement d'eau souterraine source de la Bouldoire-Les Vignes-48	Contexte - carte hydro de Pomié - Estimation des besoins - incidences sur la ressource - projet de captage - photos
eau et geoenvironnement SIAEP du causse du Massegros	oct-95 Dossier préalable à l'intervention de l'hydrogéologue agréé projet de prélèvement d'eau souterraine forage en nappe alluviale, Les Vignes, 48	Contexte - carte hydro de Pomié - Estimation des besoins - incidences sur la ressource - propositions de configuration du captage - Inventaire traçages aven et sources - Photos - Inventaire des sources de pollution - analyses d'eau
fédération française de spéléologie	1978 actes du XIIème congrès national de spéléologie	la grotte résurgence de la Roque (J. Pomié) p.114, un réseau du lias-verriérois : le réseau Gourb- Dragonières (J. Pomié) p.122
fédération française de spéléologie Gaudriot	1987 cent ans de spéléologie française 2000 SDA de St Laurent d'Olt, extraits	traçages et cavités sur Causse de Sauveterre situation géographico-géologico-hydrologico-economique , cartographie des deux hameaux du territoire d'étude : Ajas (1 exploitation) et Campselves
GAXIEU - SIAEP du Massegros Gaxieu ingénierie	janv-03 Étude de la nappe aquifère sous le site de la source de Cayrac 1997 puits et forages de Lestang : essais de pompage	Programme d'investigation pour le forage d'essai cahier des charges et devis
Gaxieu ingénierie	1997 compte rendu des pompages d'essais sur le forage F2 de Lestang	synthèse des autres travaux et résultats des essais, 1 traçage à partir du plan d'eau, 1 analyse physico-chimique du plan d'eau
Gaxieu ingénierie H. Agalède - service de la carte géologique de la France	1997 actualisation du sda de banassac 1947 Rapport géologique sur un projet de captage d'eau destiné à l'alimentation du bourg de Sainte Eulalie d'Olt	que dalle contexte général, description des différentes résurgences (cinq)
H. Agalède - service de la carte géologique de la France	1950 Rapport géologique sur le projet de captage de résurgence pour l'alimentation du bourg de Saint Laurent d'Olt	Conditions hydrogéologique, hygiène, conditions du captage

H. Agalède - service de la carte géologique de la France H. Paloc BRGM	1951 Rapport géologique sur un projet de captage de résurgences pour l'alimentation en eau de Vimenet	Conditions hydrogéologique, hygiène, conditions du captage
	1973 carte hydrogéologique des grands causses	carte et notice
Hervé Planeilles	1993 Prévision et évaluation de l'impact de travaux autoroutiers sur la qualité des eaux d'une émergence karstique captée : source de Roquaizou	rapport de DEA. Étude complète du secteur de Roquaizou : traçages, physico-chimie, isotopes, vulnérabilité
Inconnu	1996 Inventaire des cavités souterraines du département de l'Aveyron	12 pages d'inventaire de cavités
Inter-étude-aménagement	1990 Étude de la vulnérabilité des aquifères karstique au nord de séverac	Description géol et hydrogéol - compte rendu de traçages négatifs
IPSEAU	1998 Etude d'aménagement hydraulique du Merlans	BV du Merlans, sources locales, 4 traçages, coupes géol des sources
J. Ricard, BRGM	1990 Recherche d'un site pour la réalisation d'un ouvrage de production d'eau potable à Lestang	#carto géol au 1 / 6000°, trois sondages de 5 m, tectonique, structure globale du causse => 3 coupes géol # jaugeages du ruisseau
J. Ricard, BRGM	Résultats des travaux de trois sondages de reconnaissance au site de Lestang et interprétation des résultats	Détail des forages (coupes techniques, strati, résultats), hydrochimie
Jacques Rey, hydrogéologue agréé	1977 rapport d'expertise géologique concernant la protection des sources de Cayrac et La Bastide	
Jacques Rey, hydrogéologue agréé	1977 rapport d'expertise géologique concernant la protection des sources de Mayrinhac et des Esparses	
Jacques Rey, hydrogéologue agréé	1980 Rapport d'expertise géologique concernant la protection de la source de Lestang	# indépendance du puits de lestang (karst noyé alimenté par le causse de Montagnac) et du réseau de la source Pujol et de l'ancien captage de st saturnin de lenne (alimenté par le causse de Pradas) # def des périmètres # manque les plans
Jacques Rey, hydrogéologue agréé	1993 Rapport d'expertise géologique concernant la protection de la source des Angles à Rivière sur Tarn	def des pp
Jean-Louis REILLE SIAEP du Causse du Massegros	avr-98 Détermination des périmètres de protection des points de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine - Captage de la source de Bouldoire 1 - Rapport final	Proposition d'aménagement du site - Délimitation des périmètres de protection - Aspects réglementaires

La petite patrie	1926	La Serre souterraine	anecdotique, coloration à la teinture rouge avant 1926 : 2h jusqu'aux "Doulzes"
labo départ. Analyses	1990-1994	analyses eau	résultats d'analyse bactériologique et physico-chimique en 1990 et 1994 sur la source de la Bastide
laboratoire départemental des services vétérinaires	1989	laboratoire départemental des services vétérinaires	communiqués par M. JOSUAN, SNCF
Laure SOMMERIA - DDE 12	1990	étude de la vulnérabilité des eaux souterraines dans le cadre du projet de contournement autoroutier de Sévrac-le-Château	analyses sources : la bouche, postillon (=pradel), cogéma trébans, Léounes Cadre géologique et hydrogéologique - Risque de contamination - Traçages
Laure SOMMERIA - DDE 12	1991	Etude par traçage de la vulnérabilité de l'aquifère dans le cadre du projet de contournement autoroutier de sévérac-le-château	Compte rendu des traçages de mars 1991 et avril 1991
Laure SOMMERIA - DDE 12	1992	Opération de traçage dans un forage à saint dalmazy dans le cadre de l'étude d'étanchéité d'un bassin de décantation	Compte rendu du traçage du 25 mars 1992
Lucien ROUQUET	1976	Contribution à l'étude hydrogéologique de la région médiane des grands causses - gorges du Tarn et de la Jonte - Causse Méjean, Causse de Massegros	thèse UM II sous la direction de H. SALVAYRE - Climatologie, hydrologie superficielle, hydrologie souterraine (inventaire des points d'eau, le causse de Massegros, le causse Méjean, relation entre le karst, le Tarn et la Jonte, Hydrochimie, vitesse d'écoulement, vulnérabilité)
M. Perrissol	1996	AEP de la commune de Banassac , captage de ROQUAIZOU, avis de l'hydrogéologue agréé	3 ref biblio, coloration au col de la Fagette et doline 844 et autres (5 en tout), analyses chimiques, sources de pollution mentionne un forage tenté à Tartaronne pour substituer roquaizou, forage dans le Lias : eau chargée en sulfate et débit limité
Marcel Casteras	1964	Rapport géologique concernant le projet d'alimentation en eau potable de la gare (SNCF)	rapport d'expertise source de Bastide
Mirabal	1987	explorations souterraines de l'Alpina 83-87	vallée du Trébans , nord du causse rouge

Non déterminé	1993 une vue sur le canton de Campagnac et son environnement + commune de Campagnac	Schéma du réseau du SIAEP, descriptif de l'assainissement des bourgs de Campagnac, St saturnin de lenne, St martin de lenne, descriptif de la collecte des ordures ménagères, données d'élevage globales par communes (cheptels) et autres types d'activité. Pour la commune de Campagnac, données d'assainissement et d'agriculture hameau par hameau
P. Ambert et Ph. Martin, CNRS Clapiers	1992 Etude hydrogéomorphologique du tracé de l'autoroute A 75 sur le causse rouge entre le viaduc du Tarn et le raccord d'Engayresque	descriptif de la cartographie hydrogéomorphologique de l'emprise de l'A75
P. Penez Pomié Pomié Pomié	1971 grotte du duc ou event de canac source du ségala, tantayrou résurgence de Fontmaure cartes ign : st george de lévejac, st dalmazy, aguessac analyses chimiques Trébans	gersam, bulletin n°6 traçage perte de la Lande relief karstique, traçages manuscrits
préfecture de l'Aveyron	1981 Arrêté N°81-3851 du 6 novembre 1981	SIAEP de la haute vallée de l'Aveyron, projet d'alimentation en eau potable du syndicat. DUP des travaux, établissement des périmètres de protection des sources d'Esparse et de Mayrinhac à dériver en partie.
préfecture de l'Aveyron	1998 Arrêté N°982686 du 1 décembre 1998	Enquête publique relative à une demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau concernant la collecte et le traitement des eaux résiduaires du district du grand Rodez. + Lettre de protestation du président du syndicat relative au Plan d'épandage sur une parcelle surplombant le captage de Lissirou
Salvayre	1989 articles sur la Serre	divers articles anciens décrivant la Serre
Salvayre	1991 Rapport d'expertise géologique sur la définition des pp de la source du bourg (les Leounes)	# description de la source du bourg # résultats de l'étude complémentaire de Technosub : inventaire des sources et cavités du secteur (coordonnées) # schéma et coupe du captage # 2 traçages (hte et bsse eaux) # étude débit du Trébans => source Léoune = débordement de la zone karstique saturée sous le Trébans

(coupe) # def des pp

Salvayre	1977 Etude hydrogéologique du cirque du mas de Lestang en vue de l'amélioration du captage	# contexte géologique : 4 sources, faciès et perméabilité, fracturation # hydrogéologie : jaugeages, 5 hydrogrammes de crue => caractéristiques d'écoulements de fissure (pas de karstification importante) # résultats spéléo : grotte, trou souffleur (654525 x 234250, 690), aven (654475 x 232300, 765) et lac tempo des croses (654550 x 232400, 760) # traçage dans le trou souffleur -> captage # physico-chimie
Salvayre	1989 données publiques sur la perte hydrogéologique de Pierrefiche et perspectives de recherches speleo	rapport du traçage avec données température et conductivité
SEM 12	1998 SDA du SIVU de Séverac le Château et Lapanouse	extraits : pop, agriculture, réseaux, carto de tous les hameaux autonomes, synthèse de la campagne géotechnique
SEM12	1999 SDA de Vimenet, extraits	analyse environnementale, avec données physico-chim sur le ruisseau de Cuge, bonne géol, analyse socio-économique, cartographie hameau par hameau avec positionnement et descriptif des exploitations
SESAER	1999 SDA commune de Palmas	
SESAER	2000 SDA de Rivière sur Tarn, extraits	pas grand chose...
SESAER	2000 SDA de Mostuejous, extraits	pas grand chose..., sinon les tests Porcher
SIAEP des gorges du Tarn	1979 avis d'information sur les servitudes de l'établissement des pp de la source de Saint Martin	prescriptions et délimitations des pp définis par l'hydrogéologue agréé (25 07 1977)
SIAEP des vallées de Serre et d'Olt	1960 rapport d'expertise concernant le projet d'adduction d'eau potable	première étude de faisabilité des captages de la source de la Serre et de Lestang
SIAEP des vallées de Serre et d'Olt	1978 Note sur le litige Syndicat-Jory	historique des études, des mesures et des opérations de justice dans ce litige, jusqu'en 1978
SIAEP des vallées de Serre et d'Olt Marie de Campagnac	1974 étude de déversement des égouts de Campagnac	fiche : déversement de fluoréscéine dans les égouts

SIAEP du causse du Massegros	?	demande d'autorisation de prélèvement source de Bouldoire-Les Vignes-48 (extraits)	localisation cadastre des 4 sources Bouldoire données générales géol et hydrogéol estimation des débits
SIVOM du grand site national des gorges du Tarn	1992	Etude d'assainissement des causses Sauveterre-Méjean-Massegros	2 fois 6 prélèvements au pied du causse de Massegros, et 15 pour Sauveterre + Tarn, inventaire des activités polluantes (agriculture, domestiques, décharges, industries, schéma d'assainissement, cartographie abondante (cartes brgm 87, localisation des pollutions, agriculture, failles, décharges) fiche signalétique : plans, coupe, géologie, historique, réseau des Courtinaux...
SNCF	1974	tunnel de Campagnac	fiche signalétique : plans, coupe, géologie, historique, réseau des Courtinaux...
SNCF	1975	tunnel du Bez	fiche signalétique : plans, coupe, géologie, historique...
SNCF	1975	tunnel de Segui	fiche signalétique : plans, coupe, géologie, historique...
SNCF	1975	tunnel de Tarnesque	fiche signalétique : plans, coupe, géologie, historique...
spéléo-club de la Lozère	1983	Spéloufi n°4	cause de Massegros : faille des palanges, grotte-résurgence des trois-tunnels, karst fossile de murailasse, aven de Montaliès, n résurgence des Bastides
Spéléo-club de la Lozère		"les eaux souterraines des massifs calcaires de Lozère "	Sauveterre : 56 cavités et 59 points d'eau recensés (x, y, z) , quelques analyses chimiques, traçages tunnel de Campagnac
Spelunca n°78 Syndicat intercommunal de la Vallée de la Serre Université de Toulouse	1960	rapport d'expertise géologique concernant le projet d'adduction en eau potable	description hydrogéologique des sources et des modalités de captage des sources de la Serre et de Lestang
TECHNOSUB	??	Travaux d'évaluation par coloration du sens d'écoulement des eaux d'infiltration de la dépression karstique - secteur baraque du banquier - Bonsecours - Causse de Sauveterre - Commune de Campagnac	Traçage combelongue et bonsecours vers les gorges du Tarn - éléments du spéléofi n°4 ...

7.1.3 Bibliographie tirée de l'étude sur l'Etat des lieux et programme d'actions sur les karst de Midi-Pyrénées, mars 1997 (RICARD J, DANNEVILLE L)

<u>Auteur(s)</u>	<u>Année</u>	<u>Titre</u>	<u>Type</u>	<u>Sources karstiques concernées</u>	<u>Références</u>
Astruc J. G., Bakalowicz M., Biscaldi R., Mangin A.	1988	Etude des possibilités de surexploitation des aquifères karstiques de Midi-Pyrénées	Rapport	LA BASTIDE	BRGM S. G. R. Midi-Pyrénées et CNRS Lab. Sout. de Moulis
Aubague M. et al.	1979	La sédimentation liasique carbonatée du bassin causserand	Publication	GLASSAC	Colloque Sédim. Jurass. W. européen. - Assoc.séd. franç., publ. spéc. n° 1, 1978, p. 227 - 234.
Berard P.	1987	Protection des captages AEP situés en terrains calcaires. Causses Majeurs de la Lozère	Rapport	LA BASTIDE	Rapport BRGM, 87 SGN 13 LRO
Blayac	1923	Projet d'adduction d'eau de Severac Le Chateau	Rapport	CAYRAC	Rapport géologique
BRGM	1990	Recherche d'un site pour la réalisation d'un ouvrage de production d'eau potable à Lestang	Rapport	LESTANG	Rapport BRGM, 90 MPY 47
Cals D., Prever-Loiri R., Rousset C.	1980	Les terres rouges des Grands Causses du Massif Central (France)	Publication	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC	Revue Géol. Dyn. Phys., vol. 22, fasc. 4 - 5, p. 343 - 356
Carrère M.	1960	Sédimentologie stratigraphique du Lias et de l'infra-Lias entre le Lot et l'Aveyron	Thèse	GLASSAC	Thèse 3ème cycle, Bordeaux
Casteras M.	1964	Projet d'alimentation en eau potable de la gare	Rapport	LA BASTIDE	Rapport d'expertise
Charpal (de) O., Tremolière P., Jean F., Masse P.	1974	Un exemple de tectonique de plateforme : les Causses Majeurs	Publication	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC	Revue de l'Institut Français du Pétrole, t. 29, n° 5
Cizac R., Peybernes B. et Faure Ph.	1996	Stratigraphie séquentielle et biochronologie des formations carbonatées aaléno-bajociennes sur la bordure orientale du "Seuil de Villefranche-de-Rouergue" (Causse Comtal, Causse de Séverac).	Publication	ESPARSE, LESTANG, MAYRINHAC, GLASSAC	C.R. Acad. Sci. Paris, t.322, série II a, p. 133-140.
Delfaud J.	1969	Essais sur la géologie dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurassique et le Crétacé inférieur	Thèse	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Thèse Fac. Sci. Bordeaux
Dubois P.	1985	Notes karstologiques sur les Grands Causses.	Publication	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Bull. Soc. languedocienne de Géographie, 19, 3-4, p.197-226.
Dubois P., Yapaudjian L. et Bodeur Y.	1975	Excursion dans le Jurassique moyen et supérieur des Grands Causses et du Bas-Languedoc.	Congrès	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	9ème Congrès Int. Sédiment. (Nice), exc. 21, 74 p.
Fuchs Y.	1963	Contribution à l'étude géologique de la région de Vimenet (Aveyron)	Thèse	ESPARSE, MAYRINHAC	Thèse 3e cycle, Univ. Nancy, p. 174 - 247
Gèze B.	1937	Etude hydrogéologique et morphologique de la bordure Sud-Ouest du Massif Central	Publication	CAYRAC	An. Inst. Nat. Agr., t. XXIX

Marres P.	1935	Les Grands Causses	Thèse	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Thèse d'Etat, Univ. de Montpellier
Martel E.A.	1921	Nouveau traité des eaux souterraines.	Livre	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Doin, Paris, 840 p.
Martel E.-A.	1930	La France ignorée	Livre	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Delagrave, Paris
Martel E.-A.	1894	Les Abîmes	Livre	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Delagrave, Paris
Martel E.-A.	1936	Les Causses Majeurs	Livre	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Artières et Maury, Millau
Mattei J.	1961	Observations préliminaires à une étude du Lias des Causses	Publication	GLASSAC	Coll. sur le Lias Français, C.R. Congrès Soc. Sav., Mem. BRGM, n° 4, p. 743 - 756
Paloc H.	1972	Notice explicative de la carte hydrogéologique de la région des Grands Causses au 1/200000ème.	Rapport	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Atlas hydrogéologique Languedoc-Roussillon. CERGA-BRGM, 82 p. + carte h.t.
Paolini A.	1967	Etude hydrogéologique préliminaire des karsts noyés de la région des causses de Sauveterre et Méjean	Mémoire	CAYRAC, LA BASTIDE, MAS DE LA FONT	DEA, Univ. Montpellier
Pomie J.	1974	Contribution à l'étude du rôle hydrogéologique de la faille des Palanges. Etude de la résurgence des bastides et de son bassin d'alimentation	Publication	LA BASTIDE	Spélunca, mémoires n°8, actes du XI congrès National de spéléologie
Pomie J.	1983	Contribution à l'étude hydrogéologique du Causse de Masegros	Publication	CAYRAC, LA BASTIDE	Bull. Spéléo-club Lozère, n°4, Chirac
Pomie J.	1969	Les sources de l'Aveyron	Publication	CAYRAC, LA BASTIDE	Spélunca, mémoires n°6, Congrès de Draguignan
Rey J.	1977	Protection des sources de Cayrac et la Bastide	Rapport	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, MAYRINHAC	Rapport d'expertise géologique
Ricard J., Chevalier-Lemire G.	1989	Synthèse hydrogéologique de la région midi-Pyrénées, catalogue des systèmes aquifères et des domaines hydrogéologiques	Rapport	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Rapport BRGM, n° 89 MPY 43
Ricard J., Danneville L.	1997	Etat des lieux et programme d'actions sur les karsts de Midi-Pyrénées	Rapport	Sources principales	Rapport BRGM, R 39413
Roche J.	1979	Evaluation des ressources en eaux du département de l'Aveyron	Rapport	ESPARSE, MAYRINHAC, GLASSAC, LESTANG	Rap. BRGM
Rouire J. et Rousset C.	1973	Guide géologique Causses, Cévennes, Aubrac	Livre	ESPARSE, GLASSAC, LESTANG, MAYRINHAC	Masson, Paris
Rouire L.	1967	La doline de Novis	Publication	CAYRAC	Spelunca n°5, Congrès de Bordeaux
Rouire L.	1963	Recherches spéléologiques dans les Grands Causses	Publication	CAYRAC, ESPARSE, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Spélunca, Mém. n° 3, 5ème Cong. Nat. Spél., p. 130-143

Rouquet L.	1976	Contribution à l'étude hydrogéologique de la région médiane des Grands Causses, Georges du Tarn et de la Jonte, Causse Méjean, Causse du Massegros	Thèse	CAYRAC, LA BASTIDE, MAS DE LA FONT	Thèse 3ème cycle, Univ. Montpellier, Mèm. du CERGH, fasc. IV
Rouquet L., Salvayre H.	1974	Rapport hydrogéologique sur les causes de la pollution bactériologique des eaux de la source de l'Aveyron (commune de Séverac-le-Château)	Publication	CAYRAC	D.D.A. Aveyron, 18 p.
Rousset C.	1970	Notes préliminaire sur les terres rouges des grands Causses (massif central, France)	Rapport	CAYRAC, ESPARSES, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	In : CR. 95e Congr. Natl. Soc. Sav.; Reims vol. 1, p.227 à 237
Salvayres Henri	1969	Contribution à l'étude hydrogéologique de la région méridionale des Grands Causses	Thèse	CAYRAC, LA BASTIDE, MAS DE LA FONT	Thèse Doctorat, Univ. Bordeaux
Sommeria L.	1991	Etude par traçage de la vulnérabilité de l'aquifère dans le cadre du projet de contournement autoroutier de Severac Le Chateau (Aveyron). Deuxième et troisième campagne.	Rapport	CAYRAC, LA BASTIDE	Rapport pour le service aménagement RN9
Trumpy DM.	1983	Le Lias moyen et supérieur des Grands Causses et de la région de Rodez : contributions stratigraphiques, sédimentologiques et géochimiques à la connaissance d'un bassin à sédimentation marneuse	Publication - Thèse	CAYRAC, ESPARSES, LA BASTIDE, LESTANG, MAS DE LA FONT, MAYRINHAC, GLASSAC	Cah. univ. -univ. Pau Pays Adour n°19; 363 p

7.2 Partie géomorphologie

AGUILAR J.P. – 1981. – Evolution des rongeurs miocènes et paléogéographie de la Méditerranée Occidentale. – Thèse Sc. Montpellier II, 203 p.

ALABOUVETTE B., AZEMA C., BODEUR Y. et DEBRAND-PASSART S. – 1984. – Le Crétacé supérieur des Causses (s.l.). – Géologie de la France, n° 1-2, pp. 67-73.

AMBERT P. – 1982. – Le Causse de Guilhaumard, Recherches Géomorphologiques, (carte à 1/25 000^e). – *Mém. Et Doc. du CNRS*, Phénomènes Karstiques III, pp. 17-32.

AMBERT P. – 1989. – L'abri des Canalettes (Nant, Aveyron) : Présentation géomorphologique. – *Travaux UA 903 du CNRS*, n° XXVIII, pp. 35-51.

AMBERT P. – 1990. – L'évolution géomorphologique des Grands Causses méridionaux depuis le Néogène. Carte géom. 1/25 000^e de Millau HT. – *Zeitsch. Für Geom., Karst-Atlas*, Suppl. Band 77, pp. 1-24.

AMBERT P. – 1994. – L'évolution du Languedoc Central depuis le Néogène (Grands Causses méridionaux, piémont languedocien). – *Document n°232 du BRGM*, Orléans, 210 p. + 3 cartes géomorphologiques en couleur H.T.

AMBERT M. et AMBERT P. – 1992. – Grands Causses dolomitic kluftkarren : Neogen Morphogenesis and Quaternary evolution. – *Second international Conference on Geomorphology*, Frankfurt/Main, September 1989, *Zeitsch. für Geom., Band 85*, pp. 73-87.

AMBERT M. et AMBERT P. – 1995. – Karstification des plateaux et encaissement des vallées au cours du Néogène et du Quaternaire dans les Grands Causses méridionaux (Larzac, Blandas). – *Géologie de la France*, n°4, 1995, pp. 37-50.

AMBERT M. et AMBERT P. – 1995. – Evolution morphogénétique des plateaux et canyons des Grands Causses méridionaux. – *Grands Causses, nouveaux enjeux, nouveaux regards, Causses et Cévennes*, Millau, pp. 55-74.

AMBERT M., AMBERT P., COULET E., FABRE G., GUENDON J.L., NICOD J. et ORENCO C. – 1978. – Le Causse de Blandas et les gorges de la Vis : étude géomorphologique. – *Travaux ERA 282*, n°7, Aix-en-Provence, 52 p.

AMBERT P., AMBERT M. et BRUXELLES L. – 1997. – L'évolution des gorges des Causses : étude géomorphologique. – in : *L'homme qui voyageait au fond des gouffres*, Actes du colloque Martel, Mende, pp. 195-208.

AMBERT P., BOVEN A., LEROY S, LÖVLIE R. et SERET G. – 1991. – Révision chrono-stratigraphique de la séquence paléobotanique de Bernasso (Escandorgue, Midi de la France). – *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 311, pp. 413-419

BOGDANOFF S., DONNOT M., et ELLENBERGER F. – 1984. – Notice explicative de la feuille Bédarieux à 1/50000^e. – *Carte géologique de la France n° 988*, B.R.G.M. ed., Orléans, 105 p.

BONTE A. – 1958. – Réflexions sur l'origine des bauxites et sur l'altération superficielle des calcaires. – *C. R. 83^{ème} Congr. Soc. Sav.*, pp. 147-165.

BRUXELLES L. - 2001. - Dépôts et altérites des plateaux du Larzac central : causes de l'Hospitalet et de Campestre (Aveyron, Gard, Hérault). Evolution morphogénique, conséquences géologiques et implications pour l'aménagement. Thèse 3^{ème}, Université de Provence. - Document du BRGM, n°304, Orléans, 2004. - 266 p. + 5 cartes couleur.

BRUXELLES L. – 2002. - Dépôts et formations superficielles du Larzac central : Rôle morphologique et intérêt pour la reconstitution des paléo-paysages. – *Karstologia*, n°38, pp. 15-28.

BRUXELLES L. – 2002. – Ghost structures in the Bajocian limestones of the Causse du Larzac (France). – *Proceedings of the first Geologica Belgica International Meeting*, Leuven, 11-15 septembre 2002, Aardk. Mededel., 2002, 12, 149-152.

BRUXELLES L. – 2003 – La doline du Luc Bas (Campestre-et-Luc, Gard) : Témoin des paléoaltérations successives des grands causses et de leur morphogenèse. Congrès de l'Association des Sédimentologues Français, Bordeaux, p.45-46

BRUXELLES L., AMBERT P., GUENDON J.L. et TRONCHETTI G. – 1999. – Les affleurements de Crétacé Supérieur sur les Grands Causses méridionaux (France). C. R. de l'Acad. Sci., Paris, t. 329, n°10, pp. 705-712.

BRUXELLES L., AMBERT P. et GUENDON J.L. – 1999. – Altération et karstification sous couverture : le rôle morphologique de certaines formations superficielles du Causse de l'Hospitalet (Larzac, Aveyron). – In : Livret-guide des excursions, Colloque Karst-99, *Cahiers Savoisiens de Géographie*, n° 1, pp 39-53.

BRUXELLES L., SIMON-COINÇON R. – 2003. – Nouvelles données sur la transgression crétacée dans les Grands Causses et en Aquitaine orientale. – Bassins crétacés de France et d'Europe occidentale, 6-7 novembre 2004, Paris. Livre des résumés, 3 p.

BRUXELLES L. et TRONCHETTI G. – 2002 – New evidences of Upper Cretaceous deposits in the southern Grands Causses (S France) : palaeogeographical consequences. – *Proceedings of the first Geologica Belgica International Meeting*, Leuven, 11-15 septembre 2002, Aardk. Mededel., 2002, 12, 31-34.

BRUXELLES L. et S. 2003. – La chasse aux fantômes dans les Grands Causses. Utilisation d'un nouveau concept de spéléogenèse dans la recherche de cavités. – *Spelunca*, 88, p. 14-20.

CADILLON M. – 1970. – Les sols du Causse du Larzac. – Thèse 3^{ème} cycle, Montpellier, 219 p.

CALS D. – 1978. – Les terres rouges des Causse Noir et Méjean. – Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Provence-Marseille.

CALS D., PREVER-LOIRI R. et ROUSSET Cl. – 1980. – Les terres rouges des Grands Causses du Massif Central (France). – *Rev. Géol. Dyn. et Géog. Phy*, vol. 22, fasc. 4-5, pp. 343-356.

COMBES P.J. – 1972. – Les différents types de bauxites sur substratum carbonaté dans le Languedoc et l'Ariège. Remarques sur la notion d'allochtonie et d'autochtonie. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t. 274, pp.1613-1616.

COMBES P.J. – 1984. – Regards sur la géologie des bauxites ; aspects récents sur la genèse de quelques gisements à substratum carbonaté. – *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 8, 1, pp. 251-274.

COMBES P.J. – 1990. – Typologie, cadre géodynamique et genèse des bauxites françaises. *Geodynamica Acta*, Paris, t. 4, n° 2, pp. 91-109.

COULET E. – 1962. – Morphologie des Grands-Causses. – *Bull. Soc. Lang. Géog.*, t. 33, 1-2, pp. 1-62.

DEMANGEON P. – 1959. – Contribution à l'étude de la sédimentation détritique dans le Bas-Languedoc pendant l'ère tertiaire. – Thèse Sc. Montpellier, *Nat. Monsp.* n°5, Montpellier Géol., 397 p.

ENJALBERT H. – 1967. – La genèse des reliefs karstiques dans les pays tempérés et tropicaux, Phénomènes karstiques I, Mém. et Doc. du CNRS, pp. 295-327.

GASTAUD J. – 1981. – Le volcanisme des Causses et du Bas-Languedoc. Géochronologie et relations avec les paléocontraintes. – Thèse 3^o Cycle, Sc., Nice, 80 p.

GASTAUD J., CAMPREDON R. et FERAUD G. – 1983. – Les systèmes filoniens des Causses et du Bas Languedoc (sud de la France) : géochronologie, relations avec les paléocontraintes. – *Bull. Soc. Géol. de France*, 7, t. 25, n° 5, pp. 737-746.

GILLOT P. Y. – 1974. – Chronométrie par la méthode potassium-argon des laves des Causses et du Bas-Languedoc. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Paris-Sud (Orsay), 99 p. + 32 pl.

GHRISTI C., BERGER E. et BROUSSE R. – 1985. – La province volcanique des Causses-Bas Languedoc : âges, guides structuraux, morphologie et magmatisme. – *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, t. 19, fasc. 3-4, Montpellier, pp.181-195.

GUENDON J. L. et PARRON J. C. – 1985. – Les phénomènes karstiques dans les processus de la bauxitisation sur substrat carbonaté ; exemples de gisements du SE de la France. – In : Colloque International de Karstologie Appliquée, *Annales de la Société Géologique de Belgique*, n° 108, pp. 85-92.

HAQ B. U., HARDENBOL J. et VAIL P. R. – 1987. – Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. – *Science*, vol. 235, pp. 1156-1166.

LEHMANN H. – 1970. – Über "Verzauberte Städte" (ciudades encantadas, villes de rocher) und ähnliche "Naturspiele" in Carbonatgesteinen Südwest Europas. – *Universität Frankfurt/Main*, Band 8, N. R. 2, pp. 7-24.

THIRY M., QUESNEL F., YANS J., WYNS R., THÉVENIAUT R., SIMON-COINÇON R., MOREAU M.G., GIOT D., DUPUIS J., BRUXELLES L., BARBARAND J. & BAELE J.M. – Sous presse. – La France et la Belgique continentales au Crétacé inférieur : paléaltérations et paléotopographies. – *Bull. Soc. Géol. France*.

NAHON D. – 1971. – Genèse et évolution des cuirasses ferrugineuses quaternaires sur grès : exemple du massif de N'Dias (Sénégal oriental). – *Bull. Serv. Cart. géol. Alsace-Lorraine*. t. 24, pp. 219-241.

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

NICOD J. – 1975. – Corrosion de type crypto-karstique dans les karsts méditerranéens, *Bull. Assos. Géog. Fr.*, n° 428, pp. 284-297.

NICOD J. – 1977. – Lapiès couverts, modalités et rôle de la corrosion crypto-karstique. – *Abh. Zur karst und Höhlenkunde*, 15, pp. 101-121.

PARRON C. – 1975. – Contribution à l'étude des paléaltérations des grès du Crétacé Supérieur du Gard (de Pont-Saint-Esprit à Uzès). Thèse 3^{ème} cycle, Université de Provence, Marseille, 103 p.

PREVER-LOIRI R. – 1979. – Terres rouges et sidérolithique dans le nord des Grands Causses (Massif Central français). – Thèse 3^{ème} cycle, Université de Provence, 146 p.

ROUSSET Cl. – 1970. – Note préliminaire sur les terra rossa des Grands Causses (Massif Central, France). – *Act. Du 95^{ème} Cong. Nat. Soc. Sav. Sci.*, t. 1, pp. 227-237.

QUINIF Y. – 1999. – Fantômisation, cryptoaltération et altération sur roche nue, le triptyque de la karstification. – Actes du colloque européen Karst-99, pp. 159-164.

QUINIF Y., VANDYCKE S. et VERGARI A. – 1997. – Chronologie et causalité entre tectonique et karstification. L'exemple des paléokarsts crétacés du Hainaut (Belgique). – *Bull. Soc. Géol. France*, t. 168, n° 4, pp. 463-472.

THIRY M., QUESNEL F., YANS J., WYNS R., THEVENIAUT H., SIMON-COINÇON R., MOREAU M.G., GIOT D., DUPUIS C., BRUXELLES L., BARBARAND L. & BAELE J.M. – 2004. – La France et la Belgique continentales au Crétacé inférieur : paléaltérations et paléotopographies. Colloque de Paléogéographie, 8 et 9 Mars, 2004, Académie des Sciences, Paris, Livre des résumés 2p.

SCHWARZ. – 1972. – L'influence de la tectonique et de la structure des roches sur le relief des Grands Causses. – *Actes du Colloque International de Karstologie et de Spéléologie*, 21-25 août, pp. 29-34.

VERGARI A. – 1998. – Nouveau regard sur la spéléogénèse : le pseudo-endokarst du Tournaisis (Hainaut, Belgique). – *Karstologia*, n° 31, pp. 12-18.

VERGARI A. et QUINIF Y. – 1997. – Les paléokarsts du Hainaut (Belgique). – *Geodinamica Acta*, 10, 4, pp. 175-187.

WELCOME J. L. – 1993. – le proboscidiien du Mazet et les faunes de vertébrés continentaux du Burdigalien de la basse-vallée de l'Hérault (Languedoc, sud de la France). – Diplôme EPEHE, Sciences, Montpellier, 105 p.

7.3 Partie hydrodynamique

Arthaud F., 1969 : *Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles.*, Bull. Soc. Geol. De France (7) XI, p. 709-737.

Avias J., 1978 : *L'importance économique et humaine des régions karstiques et la nécessité de la protection de l'environnement karstique.*, Colloque de l'Association des géologues du Sud-Ouest, Tarbes, 17 et 18 Oct., p. 7-19.

Bakalowicz M., 1979 : *Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification.*, Thèse de Doctorat en Sciences Naturelles, Paris 6, 269 p.

Bakalowicz M., 1982 : *La genèse de l'aquifère karstique vue par un géochimiste.*, Reunion Monografica sobre el Karst, Larra, pp 159-174.

Bakalowicz M., 1992 : *Géochimie des eaux et flux de matières dissoutes. L'approche objective du rôle du climat dans la karstogénèse.*, Colloque de l'Université de Bordeaux 1, Hommage à J. Nicod, pp 61-76.

Bakalowicz M., 1999 : *Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques.*, Guide technique de la SDAGE Rhône Méditerranée Corse, n°3, 41 p.

Baudot B., 2002 : *Système d'évaluation de la qualité chimique des eaux souterraines.*, Rap. de Présentation, les études des agences de l'eau, n°80, 63 p.

Berard P., 1987: *Protection des captages AEP situés en terrains calcaires. Causes majeurs de la Lozère.*, Rap. BRGM, 87 SGN 163 LRO, 66 p.

Bergé P., Pomeau Y., Dubois-Gance M., 1994 : *Des rythmes au chaos*, Editions Odile Jacob, 294 p.

Bergé P., Pomeau Y., Vidal Ch., 1992 : *L'ordre dans le chaos vers une approche déterministe de la turbulence.*, Collection Enseignement des Sciences, Edition Hermann, 352 p.

- Bos C., 1996 :** *Etude du bassin versant de la Dourbie et de ses relations avec le karst.*, Rapport de DESS, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 94 p.
- Bouchaala A., 1991 : *Hydrogéologie d'aquifères karstiques profonds et relations avec le thermalisme. Exemple de la partie occidentale du massif du Mouthoumet (Aude, France).*, Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, 307 p.
- Boufadel M., Lu S., Molz F. J. & Lavalée D., 2000 :** *Multifractal Scaling of the intrinsic permeability.* Water Resources Research, Vol. 36, N° 11, p. 3211-3222.
- Box G. E. P. & Jenkins G. M., 1976 :** *Time series analysis, forecasting and control.*, Revised Ed. Holden Day, San Francisco, 575 p.
- Brusset S., 2004 : *L'étude géologique et tectonique du Causse de Sauveterre et de ses Avant-Causses.* Université Paul Sabatier Toulouse III, Toulouse, 60 p.
- Bruxelles L. & Mallet A., 2004 : *Etude hydrogéologique de la partie Ouest du Causse de Sauveterre et de ses Avant-Causses*, MSI Montpellier, 54 p.
- Burg J-P. & Matte P., 1978: *A cross-section through the french Massif Central and the scope of its Variscan geodynamic evolution.*, Z Dtsch Geol Ges 109: 429 – 460.
- Burger A., 1983 : *Prospection et captage des eaux souterraines des roches carbonatées du Jura.*, Gaz-Eaux-Eaux usées, Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux, Zurich, tome 9, pp 533-583.
- Burke Hubbard B., 1995 :** *Ondes et ondelettes : la saga d'un outil mathématique.*, Pour la Science , 235 p.
- Castany G., 1998 :** *Hydrogéologie, Principes et méthodes.*, Edition Dunod, 237p.
- Castany G. & Margat J., 1977:** *Dictionnaire français d'hydrogéologie.*, BRGM.
- Corbel J., 1957: *Les Karsts du nord-ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison.*, Mémoires et Documents, Inst. d'études rhodaniennes, Université de Lyon, vol. XII, 541 p.
- Cvijic J., 1893 : *Das Karstphanomen.*, Geographische Abhandlungen herausgegeben von A. Pensk, Vienna, Bd. V.H., 3, x p.
- Dahan Dalmedico A., Chabert J.L., Chemla K., 1992:** *Chaos et déterminisme.*, Edition du Seuil, 413 p.
- Davis W.M. 1931: *The origin of limestone caverns.*, Science 73, 327-33.
- De Marsily G., : *Comprendre et estimer les écoulements souterrains et le transport des polluants.*, Ecole des Mines de Paris, 243 p.
- De Marsily G., 1984 : *Méthode et domaine d'application de la mécanique des fluides en milieux poreux fissurés.*, Annales des Mines, 5-6, pp 5-10.

- Eraso A., 1985 : *Methodo de prediccion de las direcciones principales de drenaje en el karst.*, KOBIE (Serie Ciencias Naturales), Bilbao, n°XV, 122 p.
- Gèze B., 1973 : *Lexique des termes français de spéléologie physique et de karstologie.*, Ann. Spéléol., 28, 1, pp 1-20.
- Jenkins G.M. & Watts O.G., 1968: *Spectral analysis and its applications.*, Holden Day, San Francisco, 525p.
- Kiraly L., 1975 : *Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractères physiques des roches karstiques.*, In 'Hydrology of karstic Terrains', I.A.H., International Union of Geological Sciences, b, 3, pp 83-216.
- Labat D., 2000 : *Non-linéarité et non stationnarité en hydrologie karstique.*, Thèse INP Toulouse, 220 p.
- Labat D., Ababou R., Mangin A., 1999a : *Analyse en ondelettes en hydrogéologie karstique. 1^e partie : analyse univariée de pluies et débits de sources karstiques.*, C. R. Acad. Sci. Paris, 329, série IIa, pp. 873-879.
- Labat D., Ababou R., Mangin A., 1999b : *Analyse en ondelettes en hydrogéologie karstique. 2^e partie : analyse en ondelettes croisées pluie-débits.*, C. R. Acad. Sci. Paris, 329, série IIa, pp. 881-887.
- Labat, D., Ababou, R., Mangin, A. 2002b : *Analyse multirésolution croisée de pluies et débits de sources karstiques.*, C.R. Geoscience 334 (2002), pp. 551-556.
- Labat, D., Ababou, R., Mangin, A. 2002a : *Rainfall-runoff relations for karstic springs : multifractal analyses.*, Journal of Hydrology. 256, pp. 176-195.
- Maire R., 1992 : *Tendances actuelles de la recherche en karstologie.*, Colloque de l'université de Bordeaux 1, pp 511-518.
- Mandelbrot B., 1997 : *Fractales, hasard et finance.*, Edition Flammarion, 246 p.
- Mangin A., 1970 : *Contribution à l'étude d'aquifères karstiques à partir de l'analyse de courbes de décrues et de tarissement.*, Annales de Spéléologie, t 25, 3, pp 581-609.
- Mangin A., 1975: *Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques.*, Thèse de Docteur ès Sciences, Université de Dijon, (Ann. Spéléol., 1974, 29, 3, pp 283-332 : 1974, 29, 4, pp 495-601 : 1975, 30, 1, pp 21-124).
- Mangin A., 1978 : *Le karst, entité physique abordé par l'étude du système karstique.*, Colloque de l'Association des Géologues du Sud-Ouest, Tarbes, 17 et 18 Oct., pp 21-37.
- Mangin A., 1984a : *Écoulement en milieux karstique.*, Annales des Mines, 5-6, p. 135-142.

- Mangin A., 1984b : *Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoires et spectrales.*, Journal of Hydrology, 67, pp 25-43.
- Mangin A., 1986 : *Réflexion sur l'approche et la modélisation des aquifères karstiques.*, Karst Euskadi 86, San Sebastian, pp 11-30.
- Mangin A., 1994 : *Karst hydrogeology.*, Groundwater Ecology, pp 43-67.
- Mangin A., 1998 : *L'approche hydrogéologique des karsts.*, Spéléochronos, n°9.
- Marjolet G. & Salado J., 1976: *Contribution à l'étude de l'aquifère de la source du Lez (Hérault, France).*, Thèse de Doctorat de Spécialité, Montpellier, 139 p.
- Marsaud B., 1996 : *Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux.*, Thèse de doctorat en Sciences, Paris XI Orsay, 305 p.
- Martel E.A., 1905 : *La spéléologie au XXe siècle.*, Spéléunca, 6, 810 p.
- Martel E.A., 1921 : *Nouveau traité des eaux souterraines.*, Doin, Paris, 840 p.
- Paloc H., 1972 : *Notice explicative de la carte hydrogéologique de la région des Grands Causses.*, BRGM.
- Peitgen H.O. & Saupe D., 1988 : *The Science of Fractal Images.* Springer-Verlag, New-York, 312 p.
- Petit JP., Bousquet JC., Mattei J., 1973 : *Glissement synsédimentaire et troncature basale de blocs hettangiens du bord sud du Causse du Larzac entre Arboras et Salces (Languedoc).*, CR. acad. Sci., Série D, vol. 277, n°13, p. 1113-1116.
- Peybernes B. & Pellissié T., 1985 : *Essai de reconstitution de la paléogéographie des dépôts contemporains de la fin du rifting téthysien avant la transgression bathonienne sur le haut fond occitan (SW de la France).*, C.R acad. Sci. Paris, T 301, série II, n°8, p 533-538.
- Pittet C., 2002 : *Synthèse des données hydrodynamiques relatives aux aquifères karstiques du Larzac Septentrional.*, Rap. du Parc Naturel Régional des Grands Causses, 36 p.
- Pomié J., 1983 : *Etude du réseau hydrogéologique perte des Novis, grotte du Coutal, résurgence de Rouveyrol, Causse du Sauveterre.*, Bulletin du spéléo-club de la Lozère 1983, n°4 ; 80 p.
- Rey J., Cizak R., Charcosset P., 1996: *Connaissance, aménagement et protection des ressources en eau souterraine du Larzac Septentrional : bassins des sources Durzon, Laumet, Riou Ferrand, l'Homède, Boundoulaou, Lavencou et Cernon. Contexte géologique : les ensembles aquifères et imperméables.*, Rapp d'avancement ANTEA/UPS – URA 1405 du CNRS, 21 p.
- Ricard J., Bakalowicz M., 1996: *Connaissance, aménagement et protection des ressources en eau du Larzac Septentrional.*, Aveyron (France), Rap. BRGM R38953, 94 p., 200

annexes (format A4), 7 planches hors texte (format A3), 5 planches hors texte (format A1).

Rouquet L., 1976 : *Contribution à l'étude hydrogéologique de la région médiane des grands Causses. Gorges du Tarn et de la Jonte. Causse Méjean – Causse de Massegros.*, Thèse de 3^{ème} cycle, U.S.T.L. Montpellier, C.E.R.G.A., Mém. du C.E.R.H., 101 p.

Safon D., 1999 : *Etude du fonctionnement des aquifères karstiques du Larzac Septentrional.*, Maîtrise de Géologie, Université de Toulouse, 15 p.

Siméoni G.P., 1976 : *Etude de la perméabilité des formations calcaires du Jura Neuchâtelois.*, Bulletin du Centre d'Hydrogéologie, Neuchâtel, n°1, pp 9-18.

7.4 Partie traçages

ASTRUC J.-G., ROCHE J. (1986) – Notice explicative de la carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille Saint-Beauzély n° 909, p. 31-33.

ALABOUVETTE B. et al. (1990) - Carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille Sévérac-le-Château n° 885.

BAILLY-COMTE V. (2003) – Participation à l'étude hydrogéologique de l'Ouest du Causse de Sauveterre (1^{ère} partie); Etude hydrogéologique de l'Ouest du Causse du Massegros (2^{ème} partie). Rapport de stage ingénieur ESEM-IPO effectué au Parc Naturel Régional des Grands Causses, Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans. 63 p.

BLONDEL T., HUYNH C. (2004) – Participation à la campagne de traçages sur la partie ouest du Causse de Sauveterre. Rapport de projet de 5^{ème} année, Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans, 40 p.

BLONDEL T. (2004) – Contribution à l'étude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre. Caractérisation de l'altération de la qualité de la ressource en eau des systèmes karstiques du Causse de Sauveterre. Rapport de stage ingénieur de l'Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans effectué au Parc Naturel Régional des Grands Causses,. 127 p.

BRUXELLES L., MALLET A. (2004) – Etude hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avant-Causses. Parc Naturel Régional des Grands Causses. 53 p., 1 annexe.

DEFAUT B. et al. (1990) – Notice explicative de la carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille Sévérac-le-Château n° 885, p. 32-33.

GARRY B. (2003) – Etude du fonctionnement hydrogéologique de la partie ouest du Causse de Sauveterre et de ses avant-causses. Mémoire de D.E.A., Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie, Univ. Paris-Sud XI, 121 p.

LOISELEUR B. (???) – Inventaire spéléologique du causse de Sévérac et de ses marges – Etude de géographie régionale. 340 p.

MENNESSIER G., COLLOMB P. (1986) - Carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille Saint-Beauzély n° 909.

MONTETY de V. (2003) - Participation à l'étude hydrogéologique de la partie Ouest du Causse de Sauveterre et de ses Avant-Causse : détermination de systèmes hydrogéologiques karstiques à l'aide de campagnes de multitraçages. Etude de l'influence de la nature du milieu sur le transit de divers traceurs fluorescents par multitraçages simultanés. Rapport de stage ingénieur effectué au Parc Naturel Régional des Grands Causses, Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans, 58 p.

PALOC H. (1990) - Notice explicative de la carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille Sévérac-le-Château n° 885, p. 38-44.

POMMIE J. (1983) – Contribution à l'étude hydrogéologique du Causse du Masegros, p. 7-79.

RICHOMME B. (2003) – Etude de l'organisation et du fonctionnement des circulations karstiques de la partie ouest du Causse de Sauveterre (Aveyron) - Rapport de projet de troisième année, Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux, Institut Polytechnique d'Orléans, 66 p.

ROUQUET J. (1976) – Contribution à l'étude hydrogéologique de la région médiane des Grands Causses. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier, Mémoires CERGA, tome X, f. 4.

SALVAYRE H. (1976) – Recherches hydrogéologiques des causes de la pollution de la « source » des Courtinaux. 12 p., fig. et annexes.

SOMMERIA L. (1991) – Etude par traçage de la vulnérabilité de l'aquifère dans le cadre du projet de contournement autoroutier de Sévérac-le-Château – Département de l'Aveyron – Deuxième et troisième campagne – mars et mai 1991 – (traçages et essais de perméabilité). Rapport au Service Aménagement RN9, 37, av. Gambetta, BP 451, 12 104 Millau cedex, 24 p. + 2 fig. ht.
