

annales de spéléologie

EXTRAIT

Revue trimestrielle

Tome 29 - Fascicule 1 - 1974

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Alain Evelyse H.

Ann. Spéléol., 1974, 29, 1, p. 27-39.

CARACTÈRES HYDROGÉOMORPHOLOGIQUES DU KARST DES GARRIGUES SEPTENTRIONALES DU GARD,

par Guilhem FABRE (1)

Résumé.

Exposé des observations hydrogéomorphologiques effectuées dans les calcaires et les marnes d'un karst du Bas Languedoc Oriental. Distinction de deux zones karstiques différentes et essai sur la zonation karstique verticale dans chacune d'elles (2).

Abstract.

Exposure about the hydrogeomorphological observations made about the limestones and marls of an Eastern Languedoc karst. Distinction of two different karstic zones and essay about vertical karstic zoning in each one.

**

I — PRÉSENTATION.

A — SITUATION TOPOGRAPHIQUE.

Le karst des Garrigues Septentrionales du Gard défini par le massif de Lussan et le canyon moyen

de la Cèze se situe dans les coördonnées suivantes :

Latitude : Nord = 49 gr 20' — Sud = 49 gr 01'.

Longitude (Est du méridien de Paris) : Ouest = 2 gr 10' — Est = 2 gr 43'. Cette région figure un véritable bastion de garrigues limitées à l'Ouest par

(1) 6 rue Emile Khan, 30 000 Nîmes, France.

Docteur en Géomorphologie, E.R.A. C.N.R.S. N° 211 « Hydrogéologie des Roches et des Terrains Karstiques » (Pr. J. AVIAS) et Laboratoire de Géomorphologie de l'Université P. Valéry de Montpellier.

(2) Ce travail est le résumé de certaines parties d'une thèse de doctorat de 3^e cycle en géomorphologie soutenue en 1972 à l'Institut de Géographie de l'Université P. Valéry de Montpellier. Il fait aussi état de recherches postérieures.

le fossé d'Alès, au Nord par le synclinal d'Issirac, à l'Est par la basse vallée de la Cèze et les collines des Côtes du Rhône gardoises, au Sud par les plateaux de l'Uzège. Ses hauteurs moyennes se distribuent entre 280 et 320 m avec des altitudes minimales voisinant 200 m dans les vallées et les dépressions, et une altitude maximale de 629 m au Mont Bouquet.

Dans le détail, il faut distinguer : le plateau régulier de Méjannes le Clap, troué au Sud par trois dépressions importantes, à savoir celles de Fons sur Lussan, Lussan et Vallérargues, et la zone des interfluves du Mont Bouquet et de la bordure orientale du fossé d'Alès (Serres Noir, de Vambelle etc.).

B — LES CONDITIONS DE LA KARSTIFICATION.

Elles sont avant tout tributaires des conditions structurales. On en a résumé un aspect dans le tableau suivant pour la lithostratigraphie du Crétacé inférieur qui présente seul des terrains vraiment karstifiés (Tableau I).

TABLEAU I.

Lithostratigraphie et karstification du Crétacé inférieur du massif de Lussan.

Lithostratigraphie	Aptitude à la karstification (*)	
	Forte	Moyenne
Barrémien		
1 — Supérieur (faciès Urgonien) : calcaires quasiment purs puissance : 250 - 500 m	SSS - HHH	
2 — Moyen et inférieur : alternance de marnes et de calcaires marneux puissance : 150 - 200 m	SS - HH	
Hauterivien		
1 — Supérieur : calcaires surtout avec quelques passées marneuses puissance : 100 - 150 m	SS-HH	
2 — Moyen et inférieur : alternance de marno-calcaires et de marnes puissance : 500 m environ	S - H	

(*) Phénomènes karstiques : S = superficiels — H = profonds (voir planche I) — SSS - HHH = nombreux — SS - HH = peu nombreux — S - H = peu nombreux à nuls (cf. pl. 1).

Ce simple tableau met en évidence l'importance de la karstification qui affecte le faciès Urgonien, et à un degré moindre, le Barrémien moyen et inférieur et le Hauterivien supérieur. Sur le plan de la tecto-

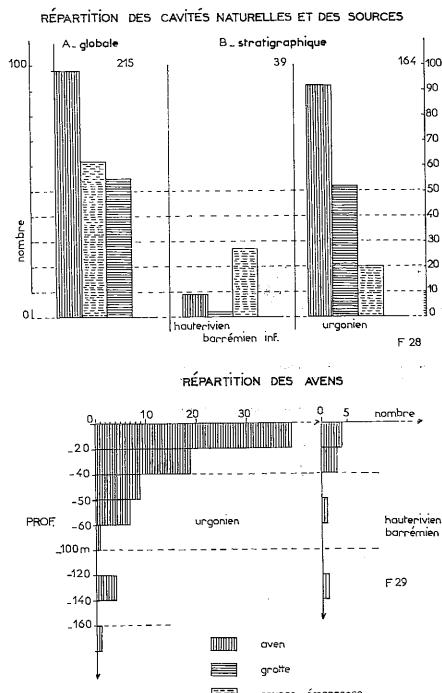


PLANCHE 1.

nique, l'anticlinorium de Lussan présente deux styles différents qui ont tous deux laissé des marques profondes (plancher II).

a) La disposition souple.

Elle est matérialisée par une série de plis pyrénéo-provençaux orientés E-W, réguliers, coiffés et parfois déjetés qui s'échelonnent du Sud vers le Nord.

On distingue :

- le synclinal de la Bruguière — Mt Bouquet ;
- l'anticlinal d'Audabiac — Saussines ;
- le synclinal de St Marcel de Careiret — Lussan — Arlende ;
- l'anticlinal de St André d'Olérargues — Malataverne ;
- le synclinal de Goussargues — Boisson ;
- l'anticlinal de Goudargues — Rochegude ;
- le synclinal de Cornillon — Tharaux ;
- l'anticlinal de Tharaux (non cartographié sur la planche II) ;
- le synclinal d'Issirac (non cartographié sur la planche II).

b) La disposition cassante.

Elle est présente dans tout le massif sous la forme de :

- grands accidents pyrénéo-provençaux de direction E-W (failles de Goudargues et de La Bastide) ;
- grands accidents cévenols d'orientation NE-SW (failles de Seynes — Mt Bouquet) ;

carte des écoulements dans le karst des garrigues septentrionales du gard
par guilhem fabre, docteur en géographie

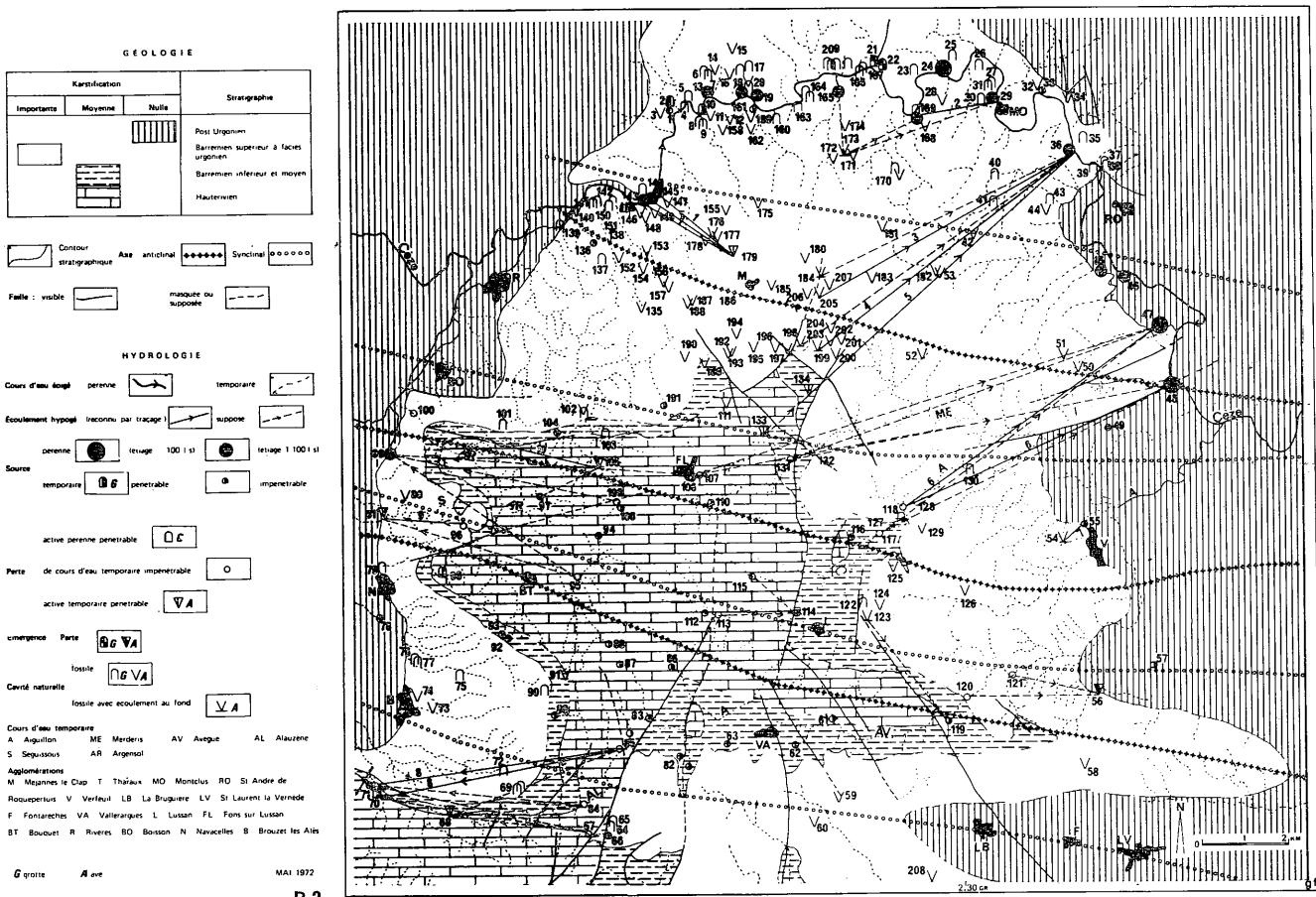


PLANCHE 2. — Inventaire des phénomènes hydrospéléologiques.

Avens.

3, Sans Nom — 11, de la Salamandre — 12, de Roger — 14, de Barry — 15, de Bary — 16, de la Masse — 28, du Camellié — 32, des Baumes — 34, de la Salamandre — 42, du Cadenas — 50, de la Citerne de l'U — 51, de l'U — 59, de Ruph — 53, du Cloporte — 54, des Issoudans — 56, de la Tugne — 58, Napoléon — 59, de la Gare — 60 du Mouton — 68, de Poche — 73, de Faucon — 74, du Scorpion — 80, de Gaffarou — 81, de Cal — 91, du Figuier — 102, de Peyrol — 105, de Boisset — 111, des Cartouches — 123, de Serre — 124, de Mercouire — 125, de Bouillas — 126, de Sarte — 127, 129, de Prade — 133, des Caillades — 134, de Camellié — 135, de Vilar — 138, du Km 10 — 140, de Cacouillade — 146, du Maset — 147, des Ours — 148, des oubliés — 149, de Gregoire — 152, de la Déception — 153, de la Peur — 154, des Grenades — 155, de Bastid — 156, de Noël — 157, de l'Aquitaine — 158, du Crapaud — 159, de Madier — 162, du Palmier — 168, de Blacassine — 170, de Peyre-Haute — 171, de Carquignaou — 172, du Sanglier — 173, des Grèves — 174, du Vasistas — 175, de Dager — 176, du Serre de la Grange — 177, de Gaston — 178, des 3 Avens — 179, de l'Agas — 180, d'Uzès — 181, de la Marie — 182, de la Boue — 183, du Noyer — 184, de Trepadone — 185, de la MAF — 186, de la Grue — 187 et 188, de la Faysse 1 et 2 — 189, des Blaques — 190, du Serre de Fons — 192, du Croisement — 193, de la Desobstruction — 194, de la Collectivité — 195, de l'Araignée — 196, du Mulot — 197, de Maurice — 198, de Cambarnier — 199, de Geneviève — 200, de Camellié 2 — 201, du Merle — 202, du 1^{er} Mai — 203, du Fangas — 204, de Ferrier — 205, de Jeanine — 206, d'Odile — 207, du Ruban bleu — 208, de Mathon.

Grottes.

4, du Garde — 5, du Galinier — 6, de la Ceramique — 7, de l'Orage — 8, de la Marmite — 9, de Damoclès — 17, du Piège — 20, des Travers, 21 et 22, du Bois Mort amont et aval — 23, de Gourgouyran — 25, du Prével — 26, de l'Ilette — 27, du Calice — 30, de la Baume — 31, du Través — 35, de la Brûge — 37, du Poteau télégraphique — 39, de la Faille — 39, du Tournant — 40, de la Route — 41, du Silex — 43, de la Seraillière — 44, de la Charbonnière — 64, de Baume Redoune — 65, du Vairon — 69, des 3 Ours — 72, de la Grande Baume — 75, des Conques — 76, du Tay — 77, du Redalet — 79, de la Carrrière — 90, des Camisards — 101, des Nègres — 103, de la Calmette — 122, de Patau — 127, de l'Huile de Cade — 128, Grotte des Fées — 130, du Portail — 132, de la Leque — 137, des Camisards — 139, du Cimetière — 141, de la Toussaint — 142, du Chat — 143, des Castors — 150, du Hasard — 151, du Cimetière et du Labyrinthe — 160, du Morgue — 163, des Italiens — 164, du Méandre — 167, de Terris — 169, de la Baume Salem — 209, de Fereyrolles.

Principales pertes impénétrables de cours d'eau temporaires.

67, de Redoune — 84 et 85, de l'Alauzène — 95 et 96, du Seguissons — 100, de l'Argensol — 107, de fons sur Lussan — 109, de Boisset — 113, des Deros — 115, d'Aiguesvives — 117 et 118, de l'Aiguillon — 120 et 121, de l'Avègue — 131, du Merderis.

Sources.

1, de Foulatier — 2, des Buisseries — 10, de Vanmale — 13, de Canet — 18, de St Ferreol — 19, des Travers — 24, de Monteils — 29, du Moulin — 33, des Baumes — 36, de Marnade — 45, d'Ussel — 46, de la Fabrique — 47, de Goudargues — 48, de la Bastide — 49, d'Aubert — 55, des Issoudans — 57, de Cuiègne — 61, de Jeanne — 62, de Coulorgue — 63, du Gascon — 66, de Baume Redoune — 70 et 71, des Angostries — 78, de Vivier — 82, de Caboual — 83, d'Agaud — 86, de Carayé — 87, des Combettes — 88, de Saussines — 89, de Vendime — 92 et 93, N. 1 et 2 du Castelas — 94, de la Moutette — 97, des Peupliers — 98, de Cabassut — 99, d'Arrende — 104, d'Hasard — 106, de Fons sur Lussan — 108, de Boisset — 110, d'Higuet — 112, de Malaïgue — 114, de Fan — 116, de la Rimoune — 119, de Prat — 136, de Pessine — 144 et 145, des Fades — 161, du Morgue — 165, de Force Male — 191, du Coq.

— diaclases et de cassures de longueur hectométrique au plus ; leurs orientations les plus fréquentes sont : NE-SW, N-S, NW-SE (zone du mas de Ruph, du Bouquet, des Banquières etc.) ;

structurales et morphoclimatiques. Par ce fait, et en fonction des observations que l'on possède sur les phénomènes souterrains, il apparaît qu'à l'échelle du massif, deux zones doivent être considérées : dans

TABLEAU II.

EXPÉRIENCES DE COLORATIONS RÉUSSIES DANS LES GARRIGUES

SEPTENTRIONALES DU GARD

Numéro de l'expérience	INJECTION						RÉAPPARITION				RÉSULTATS						Conditions de l'expérience
	L	A	D	F	Q	T	L	DR	Q	T	DT	DE	P	TP	VE	R	
1	179	A.S.N. L.G.I.G.M.	26/1/69	3	2	U	143 à 145	<1/2/69	60	U	2 300	35	1,5	<140	>15,5	>20	découpe de la Céze
2	169	?	7	?	?	U	29	?	?	U	1 950	1	0,05	?	?	?	
3	184	A.S.N. L.G.I.G.M.	13/3/69	5	0,25	U	36	<25/3/69	>100	U	6 700	190	2,83	<270	>24,1	>30	orage après l'injection
4	199	?	30/1/71	?	?	U	36	><102/71	?	U	7 400	205	2,8	<240	?	?	orage pendant l'injection
5	134	C.E.R.H.	19/5/68	3	?	BI	36	<2/6/68	50	U	8 200	120	1,45	<325	>25	?	orage après l'injection
6	131	C.E.R.H.	17/2/68	1	?	U	47	<23/2/68 24/2/68	360	U	6 650 5 500	135 136	2	<151 175	>44 31	?	tarissement de l'Anguillon
7	54	C.E.R.H.	20/3/70	0,5	?	U	55	24/3/70	200	U	600	115	19	<96	>6	?	
8	85	L.G.I.G.M.	5/5/71	2,5	0,25	HI	70 71	<12/5/71 <12/5/71	30 1	HS BI	5 400 5 600	92 96	1,7 1,71	<144 <144	37 37	>10	tarissement de l'Alauzène
9	96	C.E.R.H.	25/5/70	0,5	7	U	81	?	?	U	1 850	136	7,3	?	?	?	
10	105	L.G.I.G.M.	1/11/70	3	1	HI		<17/5/70	5	BI	4 100	96	2,35	<350	?	>7	étage

L : lieu - A : auteur - D : date - F : fluorescéine injectée (en kg) - Q : débit (en l/s) - T : terrain - DR : date de la première réapparition - DT : Distance théorique directe (en m) - DE : dénivellation théorique directe (en m) - P : pente théorique directe (en %) - TP : temps de passage à la 1ère réapparition (en h) - VE : vitesse théorique d'écoulement à la 1ère réapparition (en m/h) - R : durée approximative de restitution de fluorescéine (en jours).

U : faciès urgonien du Barrémien supérieur - BI : Barrémien inférieur - HS : Hauerivien supérieur - HI : Hauerivien inférieur

Auteurs : 1, G. FABRE, A.S.N. — 2, X — 3, G. FABRE, A. et J. L. COSTE — 4, X — 5, H. POUZANCRE et A. SUAVET (A.S.N.) — 6, H. POUZANCRE — 7, H. POUZANCRE — 8, G. FABRE — 9, H. POUZANCRE — 10, G. FABRE, M. RAULET et P. LACROIX (A.S.N.).

La bibliographie et les renseignements complémentaires sur ces expériences sont donnés in G. FABRE (1973 b).

— fissures et micro-fissures de taille centrimétrique et moins qui carent littéralement tous les calcaires (plateau de Méjannes le Clap).

Les grands accidents sont foncièrement polygéniques et ont présidé avec l'érosion, à l'apparition des macro-phénomènes karstiques superficiels (poljé de Cambarnier, pseudo-poljés de Baume Redoune, dolines incipientes du plateau de Méjannes le Clap), tandis que le maillage orthogonal des accidents mineurs a permis la création de véritables champs de lapiés principalement démantelés ou de phénomènes hypogés éminemment structuraux.

Ces quelques remarques permettent d'introduire la question du drainage karstique actuel, but de la présente étude.

II — L'ORGANISATION DU DRAINAGE KARSTIQUE ACTUEL.

Elle est tributaire, comme on vient de le voir, des conditions géologiques, et bien entendu, morpho-

les marno-calcaires et dans les calcaires compacts et fissurés et perméables en grand (planchette II).

A — LES CIRCULATIONS DANS LES MARNO-CALCAIRES.

Elles intéressent principalement les étages Hautevien — Barrémien inférieur — moyen encerclés par les formations urgoniennes. Cette disposition tecto-stratigraphique originale associée au nombre relativement peu élevé des formes hypogées, explique l'existence d'un drainage karstique particulier dont les principaux caractères sont les suivants :

1° La présence de nombreuses oppositions de séquences marnes imperméables — calcaires perméables liées à de grands accidents tectoniques cassants, font que les sources karstiques sont nombreuses dans les marnes, souvent pérennes et à débit faible mais assez régulier (région de Bouquet — Fons sur Lussan). Les avens sont moins nombreux et restent essentiellement localisés dans le Hauerivien calcaire. Les pertes impénétrables par contre pullulent :

— en période d'étiage des cours d'eau épigés, on en décèle partout au niveau du talweg (ex. l'Alauzène, de son cours supérieur au défilé des Angostrines) ;

— en période de crue ou d'écoulement normal, elles prélevent des eaux qui sont directement drainées par les sources, sans ressortie dans les cours subaériens des vallées (cas de l'Alauzène). Ce fait n'est toutefois pas général car une certaine partie des eaux karstiques reste piégée dans les marnes (ex. échecs des colorations de Fons sur Lussan, 107 et de Boisset, 105, 109), et doit être progressivement restituée vers la périphérie du massif dans l'Urgonien, selon des modalités qui restent à préciser mais qui suggèrent l'existence de nappes karstiques installées dans des microfissures et des zones perméables en petit comme celles étudiées en Languedoc par H. PALOC (1961).

2° Les expériences de coloration à la fluorescéine (tableau II) réalisées dans ces formations montrent :

a) que la dépendance absolue des circulations souterraines, en fonction des vallées subaériennes dont elles sont issues et des phénomènes karstiques, selon la loi du jalonnement de l'abbé PARAMELLE (1859) est vraie dans certains cas précis (ex. coloration des pertes supérieures diffuses de l'Alauzène, G. FABRE 1972 c.).

b) qu'il existe des cas de diffluence des écoulements karstiques (ex. capture du ruisseau de Boisset par celui de l'Argensol et la source des peupliers).

c) que le cheminement des circulations hypogées, s'il est parfois adapté à la tectonique (failles drains, gouttières synclinales...), ne l'est pas toujours (coloration de Boisset).

d) qu'au niveau des vallées, la vitesse assez élevée des écoulements profonds même à l'étiage, implique l'existence de conduits karstiques bien développés (ex. coloration de l'Alauzène).

e) enfin que cette zone marneuse constitue en quelque sorte un « château d'eau karstique » qui régularise le débit des écoulements exportés vers les grosses émergences de la bordure urgonienne. A ce titre, le gros débit régulier de l'énigmatique source d'Arlende dont la chimie (3) prouve qu'elle est bien une source de karst, est un bon exemple. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, et à l'inverse de cette organisation, nous ne connaissons pas pour l'instant d'exemple de drainage des eaux urgoniennes par le compartiment marneux central.

(3) Analyses in B. LEMAIRE (1966) et du C.E.R.H. (H. POUZANCHE 1971). Juin 1966 : Ca = 5,6 — Mg = 0,2 — Na = 0,12 — K = 0,03 — CO₃ = 5,7 — HCO₃ = 5,7 — SO₄ = 0,23 — CL = 0,3 — Resist : 2210 ohms/cm à 18°C. Elles sont exprimées en meq/l.

B — LES CIRCULATIONS DANS LES TERRAINS PERMÉABLES EN GRAND.

Elles se situent quasi exclusivement dans l'Urgonien et sont organisées d'une façon plus anarchique, par le fait qu'elles ne creusent qu'un seul faciès disposé en auréole pentée vers l'extérieur du massif. Dans le massif et sur les bordures, divers types de contacts entre les zones karstiques et la couverture non karstique sont à noter. Ils jouent tous un rôle primordial dans la disparition et l'apparition des eaux souterraines hors du massif karstique ou à l'intérieur de celui-ci.

1 — Les types de contacts structuraux et morphologiques régionaux.

a) CONTACT PAR FAILLE.

Peu nombreux dans cette région, ils sont bien connus dans le Bas Languedoc depuis les premiers travaux de B. GÈZE en 1939 (p. 5-14) longuement développés par la suite par divers auteurs.

1°) Contact par faille entre des terrains plus ou moins karstiques.

C'est le cas entre les marnes inférieures du Barrémien et Hauterivien et l'Urgonien, à l'intérieur du Massif de Lussan. Le long de certains accidents, on décèle aussi bien l'apparition que la disparition des eaux karstiques. Sur ce point, on peut citer le rôle de la faille de Seynes. Sur tout son développement et celui de ses satellites, se trouvent des sources (66, 82, 83, 86...), des grottes fossiles (64, 65) et des pertes impénétrables temporaires au passage des vallées.

2°) Contact par faille entre le karst et les terrains non karstiques.

Avec ce type, le karst est barré extérieurement comme au Sud de Boisson, à Goudargues et à La

TABLEAU III.

Débit des sources de Goudargues et de La Bastide
(d'après H. POUZANCHE 1971).

Débit (*)	Source	
	Sources de Goudargues	Sources de La Bastide
Maximum .	430 l/s	450 l/s
Minimum .	300 l/s	280 l/s
Moyen	368 l/s	350 l/s

(*) Année 1969.

Bastide. A ces deux derniers lieux en particulier deux failles-drains mettent en contact l'Urgonien avec le Crétacé moyen et supérieur ; dans leur amortissement apparent, sous les niveaux quaternaires de la Cèze, elles favorisent en surface l'apparition de deux très grosses émergences pérennes à faible coefficient de variabilité (tableau III).

b) CONTACT DE TERRAINS HÉTÉROGÈNES.

1°) *Terrains hétérogènes plus ou moins karstiques.*

A l'intérieur comme à l'extérieur du massif, sur la bordure Est, ce type de contact a une certaine importance puisqu'il fait qu'un compartiment marneux se touche avec une zone calcaire. Ce sont les étages : — calcaires : Urgonien, Hautevien supérieur ; — marnes : Barrémien et Hautevien inférieur et moyen.

Au niveau des toits imperméables sourdent des sources à débit peu élevé, le plus souvent pérennes. En règle générale se trouvent localisés sur ce type de contact les mêmes phénomènes décrits auparavant dans le paragraphe relatant le contact par faille entre des terrains plus ou moins karstiques.

2°) *Contact de l'Urgonien et des terrains non karstiques.*

On le retrouve sur les bordures W, N et E du Massif de Lussan. Dans ce cas, la majorité des eaux karstiques s'écoulent dans la couverture non karstique discordante ou disparaissent en profondeur dans l'Urgonien karstifié, comme le laissent supposer les premiers essais de prospection géophysique sur la bordure orientale (H. POUZANCHE, 1971, p. 75). Localement toutefois, des sources émergent soit dans l'Urgonien même (aven de la Tugne, aven d'extravasement de Cal) et correspondent à des regards sur le karst noyé, soit au niveau de la rupture de pente du massif (sources d'Ussel, d'Arlende, de la Fabrique...).

c) REMARQUES.

Dans ces différents types de contacts, les écoulements souterrains transitent vers les zones non karstiques et sont difficilement réperables dans l'état actuel des choses. Dans la masse calcaire même du massif qui descend jusqu'au substratum imperméable, situé sous le niveau des vallées et en particulier du canyon allogène de la Cèze, l'hydrologie régionale s'organise surtout en fonction de la Cèze par le biais d'affluents et de sources se rattachant à celle-ci. Quelques-uns de ses caractères fondamentaux ont pu être dégagés à la suite d'expériences de

traçage à la fluorescéine (tableau II) réalisées dans la zone vadose, et d'analyses chimiques des eaux de la zone phréatique (tableau IV).

TABLEAU IV.
Chimie des eaux de quelques émergences du canyon de la Cèze.

Analyse	Lieu				
	Travers	Van-male	Canet	Forcé Male	Mouteil
Température terrain	14,5°	14,2°	14,3°	14,1°	14,3°
Unités meq/l					
Ca	3,55	6,50	4,15	5,30	4,25
Mg	0,08	0,16	0,72	0,12	0,58
K	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03
Na	0,09	0,09	0,83	0,10	0,57
Somme cations	3,72	6,75	5,73	5,52	5,43
Somme anions	3,60	6,69	5,64	5,80	5,42
SO ₄	0,44	0,24	1,37	0,78	1,10
Cl	0,06	0,62(**)	0,76	0,08	0,56
CO ₃ et HCO ₃	3,10	5,83	3,51	4,94	3,76

(*) Auteur et date des analyses : C.N.A.R.B.R.L. 9/7/70.

(**) Erreur possible pour les teneurs en Cl⁻ de l'émergence de Vanmale.

2 — Caractères de la disposition des circulations souterraines d'après les colorations et la chimie.

a) LES ÉCOULEMENTS KARSTIQUES DES RIVIÈRES DES CANYONS RÉGIONAUX.

Dans ces canyons calcaires dont le talweg est crevé de pertes impénétrables, la loi de l'Abbé PARAMELLE (*op. cit.*) invoquée pour les cours d'eau en terrains marneux se justifie pleinement ici.

— Durant le tarissement du cours subaérien de l'Aiguillon, en amont des Concluses, le gour crevé impénétrable des Tres Tinos a été coloré. La fluorescéine a été restituée aux sources de Goudargues - La Bastide prouvant ainsi que l'Aiguillon a un sous-écoulement karstique en dépendance absolue avec des phénomènes karstiques et son talweg subaérien, jusqu'au niveau de deux grandes failles barrières qui le drainent vers les deux sources précitées.

— De l'autre côté du massif, à l'Ouest, le Séguis-sous a été coloré à la hauteur du gour crevé impénétrable des Aiguillères. Le colorant a été récupéré à l'aven d'extravasement de Cal situé exactement dans l'axe du canyon urgonien.

Il est presque certain qu'une coloration du Merderis, des pertes supérieures de l'Argensol ou de l'Avègue confirmerait ce premier caractère classique de dépendance en fonction du talweg superficiel et des accidents cassants.

b) LES ÉCOULEMENTS DANS LES AVENS.

Dans le Massif de Lussan, à une exception près (aven de l'Agas), les circulations observées dans les avens sont toutes temporaires. Les écoulements pérennes sont tous établis dans la zone basse du karst au niveau ou en dessous de la Cèze. Pour ce qui est des écoulements temporaires, on remarque qu'ils sont généralement drainés par les émergences à gros débit qui leur sont les plus proches et ce, en tenant compte ou non des données morphostructurales.

— Les circulations hypogées colorées de l'aven de Camellié, d'abord barrées par la faille de Malataverne, s'écoulent ensuite dans la gouttière synclinale de St André de Roquepertuis pour ressortir à l'émergence de Marnade et dans des boulidous pérennes du talweg actuel de la Cèze (adaptation aux tectoniques cassante et souple). Des remarques identiques doivent être faites pour les écoulements des avens de Jeanine, Cambarnier et Trépadoïte. Elles montrent par contre des cas d'indépendance totale en fonction de la topographie superficielle puisqu'elles ignorent la présence du système Merderis - Aiguillon - Goudargues - La Bastide.

— La coloration de l'aven de l'Agas, ressortie au système des Fées à Tharaux, confirme la théorie gé-

nérale stipulant qu'en premier lieu un écoulement souterrain est drainé par la source à débit élevé la plus proche.

c) LES ÉCOULEMENTS KARSTIQUES ACTUELS DANS LE CANYON DE LA CÈZE.

1°) *Les dérivation de la Cèze.*

A l'inverse du Vidourle supérieur ou du Gard inférieur qui se perdent chaque été pour réssurer à de grosses sources karstiques (M. RICOLVI 1968; G. FABRE 1972 b), la Cèze disparaît rarement totalement. A l'étiage cependant, son talweg montre des pertes impénétrables masquées par les galets holocènes cévenols peu épais (planche III). Elles drainent à travers les matériaux détritiques et les calcaires, de simples sous-écoulements qui sont partiellement karstiques.

Parmi les dérivation karstiques, la plupart sont fossiles et ne fonctionnent qu'exceptionnellement en période de crue (dérivation du Bois mort, entrée supérieure des Fées à Tharaux...). Une seule est active en permanence : c'est la perte de la Baume Salem en amont de Montclus (169).

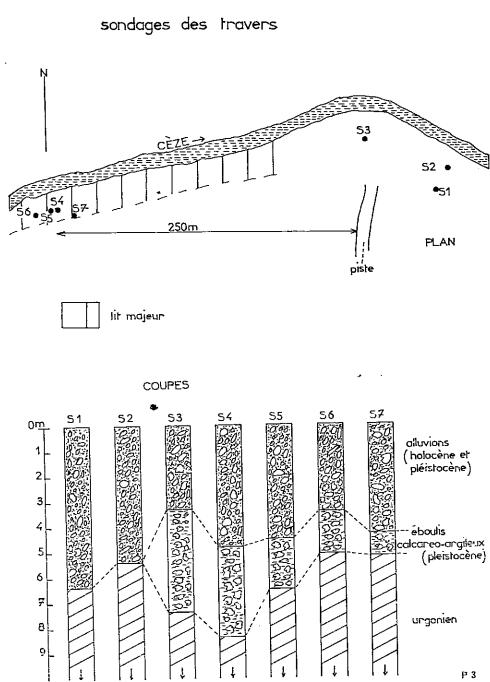
— Cette cavité connue depuis longtemps (F. MAZAUROVIC 1904, J. MAHEU 1902...) est explorée régulièrement par de nombreux spéléologues qui ont reconnu plusieurs centaines de mètres de galeries creusées dans une zone fracturée, et entièrement noyées en temps de crue. La Cèze qui la parcourt, alimentée localement par des apports d'eau latéraux, réssure au Moulin de Montclus (29) après un parcours de quelques 2 km. C'est un cas typique de recouplement souterrain de méandres encaissés, identique à celui étudié par E. A. MARTEL à Han sur Lesse en Belgique (VAN DEN BROEK etc. 1910) par exemple.

2°) *Les sources pérennes, véritables niveaux de base locaux.*

Situées dans ou sous la Cèze (ex. en aval des Fées), à son niveau ou légèrement au-dessus, ces émergences présentent souvent dans leur partie supérieure une zone dénoyée temporairement qui correspond à la base de la zone vadose, et un réseau bas toujours noyé, phréatique et plus ou moins bien développé. La chimie (tableau IV) prouve d'ailleurs que ces eaux sont typiques des terrains urgoniens par leur charge élevée en bicarbonates et leur minéralisation très faible en chlorures. Cet aspect de la chimie est général ; une anomalie toutefois est à noter.

Les émergences de Monteil (4) qui ont le plus fort débit de la région (et de loin), ont une chimie identique à celle des sources de karst, mais en outre elles

(4) Au nombre de trois principales échelonnées sur 30 m en rive gauche.



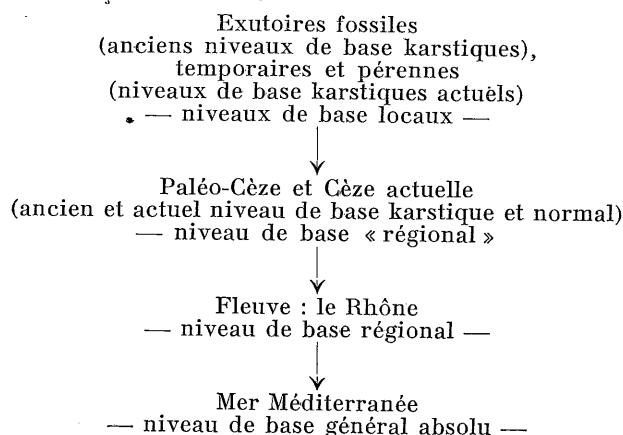
sont plus chargées en chlorures et en sulfates. Cela peut s'expliquer par deux hypothèses qui pourront être vérifiées ultérieurement. L'augmentation de SO_4^{2-} et de Cl^- peut provenir :

— soit d'infiltrations des écoulements de surface de la Cèze, en amont (5), peut-être au niveau de Terris ou plus haut ;

— soit d'infiltrations dans les dépôts de couverture du Stampo-Sannoisien d'Issirac drainées par le karst sous-jacent.

Ces deux hypothèses peuvent d'ailleurs être toutes les deux valables avec seulement des variations quantitatives d'apports d'eau des deux zones d'infiltrations précitées. Par ailleurs, les liaisons prouvées entre les zones superficielles vadose et les grosses sources du canyon, attestent que l'alimentation de ces dernières provient de plus des deux tiers du Massif de Lussan, et que le drainage est divergent vers les bordures tant en surface qu'en profondeur. Elles soulignent surtout le rôle de niveau de base karstique local des grosses émergences drainant un bassin versant dont le périmètre peut être assez flou selon les conditions hydrogéologiques. Ces micro-niveaux de base sont par la suite drainés par la Cèze, même quand une partie de leurs écoulements sort sous celle-ci (6) comme c'est le cas à Marnade par exemple, et dans la plupart des sources de l'Hérault, de la Vis, du Vidourle etc. En ce sens, on ne peut qu'être de l'avis de B. GÈZE quand il écrit : « Le niveau de base karstique doit être défini comme étant le niveau de l'émergence topographiquement la plus basse vers laquelle peuvent se diriger les eaux de l'ensemble calcaire considéré » ; il ajoute pour préciser : « sous réserve que ce niveau ne soit pas inférieur au niveau de base géographique absolu... et il faut insister sur le fait que des circulations actives sont possibles au-dessous du niveau de base lorsque le calcaire continue sous les émergences » (1965 p. 33).

A une échelle régionale, on peut schématiser l'organisation de ces « niveaux de base » en les classant de la façon suivante :



Cette question du niveau de base karstique n'est considérée ici que sur un plan régional car si la majorité des auteurs reconnaissent sa réalité en Bas Languedoc, il est des régions où ce n'est pas le cas comme dans les Préalpes (A. BOURGUIN 1945). De toute façon, la complexité du phénomène karstique en général implique qu'avant d'être replacée dans l'étude d'une région, chaque zone doit être considérée à part et de près car « c'est toujours un cas particulier » comme le souligne B. GÈZE (1965 p. 37) à la suite de J. CVILIC (1960).

III — LA ZONATION HYDROGRAPHIQUE KARSTIQUE VERTICALE ET L'ÉTAT DU KARST ACTUEL.

Après avoir dressé un bilan des principaux phénomènes karstiques, il convient maintenant de les placer dans leur contexte spatial avant de voir comment on peut les situer dans le temps. Mais avant toute chose, il faut opérer une distinction capitale entre la zone karstique directement rattachée au canyon de la Cèze (Nord et Est du massif), et celle qui entre en contact avec le fossé d'Alès à l'Ouest.

A — LA BORDURE KARSTIQUE OCCIDENTALE.

Dans cette région, l'observation des quelques phénomènes hypogés cartographiés ne permet pas, pour l'instant, de bien définir la zonation karstique qui, en fait, est assez floue pour d'autres raisons.

La première réside dans l'absence de grand canyon-drain principal auquel se raccorderait le système karstique profond. En effet, le Séguissois, l'Argensol et l'Alauzène, tout en étant bien enfouis entre les interfluves, ne sont que temporaires, et à ce titre, assez incompétents. De plus, à deux ou trois exceptions près, on ne connaît pas d'émergence pérenne située sur leurs rives. La seconde raison est un corollaire de la première. On ne trouve qu'une grosse émergence pérenne à faible coefficient de variabilité : Arlende (99) et deux exutoires à bouche temporairement active mais qui présentent en leur fond des plans d'eau pérennes (Angostrines 70 et 71, et Cal 81).

Cela a pu être vérifié pour le premier, à la suite d'un pompage (G. FABRE 1971). Après un rabattement

(5) Hypothèse vérifiée dans le cas du Gardon dans son canyon inférieur, par la chimie, un traçage à la fluorescéine et des explorations spéléologiques (pompages et plongées, cf. M. RICOLVI 1968 et G. FABRE 1972 b, 1973 b).

(6) Des sondages réalisés dans le lit mineur de la Cèze jusqu'au niveau du mur des alluvions ont montré que le karst urgénien était toujours sous-jacent à une faible profondeur comme aux Travers par exemple (planche III).

de 15 cm obtenu rapidement sur le plan d'eau situé au fond, le niveau s'est stabilisé pour reprendre sa hauteur initiale dès la fin du pompage. Cet essai de pompage confirme donc le rôle de « trop-plein » que joue l'émergence des Angestrines dès que l'Alauzène hypogée est en crue. Par ailleurs, durant le pompage, la baisse de l'eau dans une piscine sise au SE, à La Rouvière, et alimentée par un petit écoulement pérenne, prouve bien qu'il faille étendre plus au S dans l'anticlinorium de St Just même, la zone drainée par cette émergence et l'Alauzène souterraine.

Pour ce qui est de l'aven de Cal, le problème est plus complexe. Une ou deux fois par an au moins, dès que le Séguissous est en crue et occupe tout son lit subaérien, il dégorge et engendre un petit lac calé contre les parois d'une petite reculée. A une échelle plus petite que celle des phénomènes étudiés sur le Causse du Larzac (H. SALVAYRE, 1969), on est en présence d'un cas d'extravasement temporaire classique.

La source d'Arlende quant à elle est encore plus mystérieuse pour ce qui est de son alimentation. Plusieurs expériences de colorations à la fluorescéine ont été tentées sans être récupérées dans son griffon. Malgré cela, il semble bien que son impluvium s'étende (7) au minimum au-delà du bassin-versant de l'Argensol.

Par ailleurs, aux faibles remarques réalisables sur la zone phréatique s'ajoutent celles effectuées dans la zone vadose. Avens et grottes du Mt Bouquet-Bois d'Allègre sont secs et rapidement obstrués par des éboulis, des trémies argilo-pierreuses et des recouvrements de calcite importants. Cependant, pour le moment, aucun « regard » ne permet comme pour l'Alauzène hypogée (ex. aven de Poche 68) d'observer les fluctuations des différentes zones hydrologiques. En fait, cette carence peut avoir plusieurs causes parmi lesquelles deux principales :

— La disposition tecto-stratigraphique de cette bordure cassée et très fortement pentée vers le fossé d'Alès implique nécessairement une « fuite » rapide en profondeur des eaux karstiques. A cet égard, la non-découverte d'eau dans le contact Eocène-Urggien, au droit du ruisseau de Cal (8) peut être une preuve.

— L'importance des affleurements calcaréo-marneux moyennement karstifiés et souvent drainés par des organismes fluviatiles du massif directement raccordés au canyon de la Cèze (région de Fons sur Lussan, de l'Aiguillon supérieur...) est aussi un frein

aux observations effectuables sur l'hydrographie profonde des calcaires qui les bordent à l'Ouest.

Ainsi, sur cette bordure, il est impossible actuellement de parler de véritable niveau de base karstique et de zonation hydrographique verticale bien marquée. Les écoulements profonds des canyons locaux ont bien entendu une origine karstique indéniable, mais étant bien localisés et sensiblement identiques sur le plan de la compétence, aucun ne peut prétendre être assimilable à un niveau de base dans cette région. Par leur fait, ils prouvent l'existence d'une zone phréatique, en rapport apparemment avec la topographie, du moins pour l'essentiel, et d'une zone vadose parfois en accord avec les données morphostructurales, mais le plus souvent installée de façon anarchique.

B — LES PLATEAUX DU CANYON DE LA CÈZE.

Par leur position topographique et le nombre élevé des données qui ont pu être recensées sur et dans leur masse, il a été possible de vérifier régionalement les grandes théories synthétiques de l'hydrogéomorphologie karstique, émises, discutées et rapportées par J. H. BRETZ (1942), G. CASTANY (1967), J. CVIJIC (1918 et 1925 a et b, 1960), W. M. DAVIS (1930), B. GÈZE (1973 a et b), A. GRUND (1903), E. A. MARTEL (1921), O. E. MEINZER (1923), R. RHOADES et M. N. SINNACORI (1941), D. S. SOKOLOV (1967), A. C. SWINNERTON (1932), A. C. SWINNERTON et C. ALLYN (1942), A. VANDENBERGHE (1964). Elles prônent toutes l'existence d'une zonation hydrographique et hydrologique verticale dans les masses calcaires, mais diffèrent plus ou moins pour ce qui est du découpage des diverses zones. Rapportons-les à nos observations.

1 — La zone karstique noyée profonde.

Aussi paradoxal que cela puisse paraître, c'est celle que l'on appréhende le mieux. Sa présence est liée avant tout à la Cèze qui représente le niveau de sa limite supérieure. Celle de son « mur » est par contre difficilement décelable, car il est par essence inobservable, étant situé sous la Cèze, localement à —10 m et plus bas encore. Sa vidange, en temps normal et à l'étiage, est le fait de boulidous localisés dans le talweg même de la Cèze (aval des Fées), de fissures impénétrables et des grosses émergences pérennes situées au fil de l'eau. En période de crues, le drainage de cette zone est en plus assuré par des exutoires supérieurs temporaires connectés à la Cèze qui dégorgent le trop-plein.

Malgré tout, cette partie « d'imbibition générale » doit être considérée comme un lieu de rétention maximum des eaux karstiques développé verticalement sur plusieurs dizaines de mètres. Le style de son

(7) H. POUZANGRE (1971) estime à 32 km² sa superficie, à 56 km² celle du système La Bastide - Goudargues, à 22 km² celui de Marnade et 44 km² celui des Féés à Tharaux.

(8) Forage réalisé en 1970 jusqu'à une profondeur dépassant —50 m (renseignement inédit des foreurs).

écoulement et les types de réseaux dans lesquels il s'effectue sont observables en divers points :

— Dans le système des Fées à Tharaux (R. et A. AGNEL 1971), dans le réseau inférieur noyé profond de —20 à 30 m, selon les endroits, des relevés topographiques indiquent que l'eau transite le long de grandes galeries parfaitement pénétrables si elles étaient sèches. Des remarques semblables se font à Marnade (36), dans la Baume Salem (169) et aux émergences de Monteil (24). Elles corroboreront par conséquent la théorie de la rivière souterraine de E. A. MARTEL (*op. cit.*).

— Ailleurs, la vidange du karst noyé est le fait de fissures impénétrables, souvent en réseaux ; leur chevelu est alors très anastomosé comme aux sources de Goudargues par exemple.

— Aux émergences de Monteil, le type de réseau est une synthèse des deux précédents. A un niveau de l'exutoire principal, les galeries sont pénétrables sur quelques mètres puis se ramifient en fonction de cassures et deviennent impénétrables. Plus en amont d'ailleurs, il est fort possible qu'existent des grandes salles et des galeries totalement noyées ou non.

2 — La zone karstique supérieure aérée.

C'est la seule qui soit directement pénétrable actuellement grâce aux nombreux sondages naturels que représentent les avens. Cette zone est généralement sèche surtout dans l'Urgonien où l'on discerne plusieurs crans dans l'étagement de la profondeur des gouffres. Jusqu'à —30 m environ, ils sont pratiquement inactifs, les concrétions ne montrent des traces de percolation qu'avec parcimonie, l'eau descend rapidement. Au-dessous, dans la « zone » des grands avens, la rétention aquatique est plus forte, la durée de percolation est plus longue pendant et après les grosses pluies. Ce fait va en s'accroissant en fonction de la profondeur. Stalactites, excentriques, draperies et stalagmites sont actives, les trottoirs de calcite indiquent les niveaux de petits lacs temporaires, et les marques d'écoulements sont attestées par l'aspect méandriforme des galeries crevées d'une multitude de points absorbants.

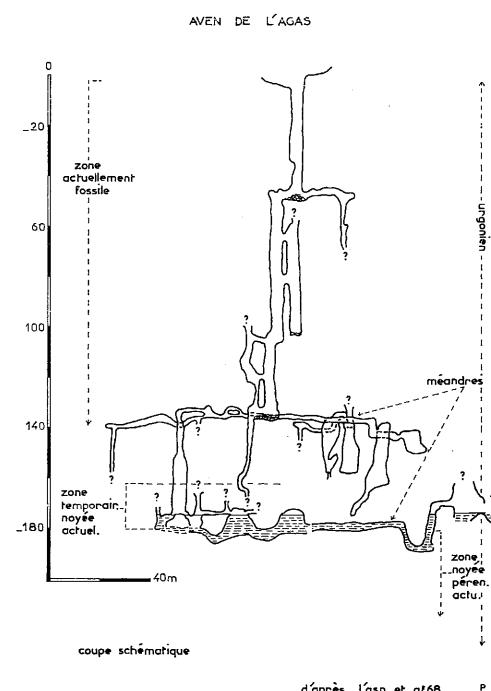
Dans les marnes qui affleurent largement en diapir selon H. POUZANCRE (1971 p. 53) (9) dans la région Camellié - Trépadone, le chapelet d'avens (plan-

che II) a une activité hydrologique plus intense par le fait de la pétrographie, et ce, quelle que soit la profondeur. La percolation située sur les voûtes donne rapidement naissance à des « pissourlets » descendants par crans vers les émergences-drains de la Cèze. Dans cette zone, l'eau circule verticalement dans la partie proche de la surface, et doit avoir une circulation subhorizontale plus tendue vers le bas du karst ; les diverses observations permettent de lui donner une épaisseur variant entre 150 m et 200 m.

3 — Le problème de la zone intermédiaire et les observations « *in situ* ».

A l'exception des exutoires latéraux localisés dans le canyon de la Cèze (cf. avant) et correspondant à des regards sur le « toit » de la zone phréatique (water-table), cette zone II n'a été bien explorée « *in situ* » que dans le système aven de l'Agas — aven de Grégoire — Fées (10). L'hydrogéomorphologie de l'aven de l'Agas (11) peut se résumer ainsi :

Avec moins 180 m, cet avon détient le record de profondeur des garrigues du Bas Languedoc Oriental. A ce titre, il constitue un « regard » naturel particulièrement intéressant pour l'observation du karst (planche IV). En simplifiant, sa genèse peut s'expliquer ainsi :



(9) Ce style tectonique paraît peu probable dans cette zone là car la plasticité des marnes n'est pas telle qu'elles auraient pu être éjectées vers la surface. En accord avec R. BUSNARDO qui étudiait la surface de l'Urgonien, nous pensons que les marnes cartographiées à tort sous le sigle CU dans la zone S et E de Trépadone, au N de Cambarnier, ne sont en fait que des passages latéraux de faciès dans l'Urgonien, comme c'est souvent le cas. Ils sont en plus soulignés ici par la tectonique cassante.

(10) Des expériences de traçage à la fluorescéine ont prouvé la liaison entre ces divers lieux.

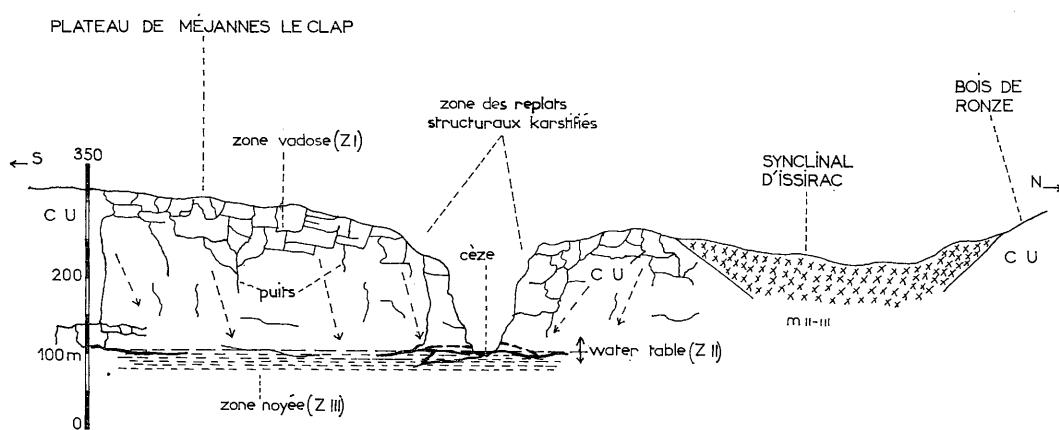
(11) « Erable » en languedocien et non « pie ».

A une époque indéterminée mais nécessairement ante-Pléistocène, existaient des cassures plus ou moins grandes et déjà élargies par la karstification. Après cette période, à l'exception des vides verticaux antérieurs, un seul niveau horizontal s'est développé au bas du puits de 90 m. Il doit être mis en rapport avec l'enfoncement du Canyon de la Cèze. Son ouverture située dans l'axe du talweg d'une vallée sèche est le fait d'un ancien cours d'eau qui se perdait là à son niveau. Le premier puits est donc celui d'un aven absorbant, creusé par efforation comme en témoigne la salle subcirculaire en cloche de marmite de géant située à son pied. A cet endroit, l'eau se perdait dans un système de puits dont le plus important a 90 m de profondeur et dont l'évidement a été grandement favorisé par la présence de nombreuses cassures (aven tectonique). A la côte du réseau hori-

invoquer à son endroit que c'est une forme polygénique éminemment structurale.

Par ailleurs, au fond de l'Agas, on a pu suivre les fluctuations d'une zone active en permanence où cascades et galeries se succèdent (12). En altitude, elle se trouve à 30-35 m au-dessus du niveau moyen de la Cèze ; en aval de ce point, dans l'aven de Grégoire, le siphon et les voûtes mouillantes terminales n'en sont plus qu'à + 5-10 m.

Si l'on considère que la Cèze pérenne fait partie de la zone phréatique (III), cela laisse une fourchette de 30 à 40 m maximum pour prouver l'existence d'une zone II au sens de J. CVIJC. Sa faible extension verticale s'explique correctement par l'épaisseur totale de la masse karstifiée voisine de 250 m environ.



SCHEMA SYNTÉTIQUE
de la
ZONATION VERTICALE DU KARST

P 5

zontal (—130 m), les eaux ont défoncé le plancher des galeries syngénétiques initiales. Dans cette galerie qui a pris une forme mixte (para-syngénétisme) s'est établi un écoulement laminaire directement responsable de l'apparition de nouveaux puits formés au bas de pertes et de méandres associés à des remplissages. Toute cette partie de la spéléomorphogenèse est obligatoirement antérieure au plus au Quaternaire moyen-ancien. A nos yeux, elle est vraisemblablement d'âge Pliocène. Le puits terminal (gouffre « cheminée-d'équilibre » de B. GÈZE, 1953) et les galeries actuellement noyées correspondent à un réajustement récent des réseaux karstiques avec les écoulements de la Cèze.

Cet aven est donc « fossile » jusqu'à — 180 m (à la percolation consécutive aux pluies près). On peut

En résumé, en fonction des données connues et sous réserve de modifications ultérieures, selon les découvertes, nous proposons le découpage suivant (planche V) (13) :

— Z1 : zone superficielle et vadose aérée à percolation temporaire, presque « fossile », zone des lapiès et des avens, épaisseur moyenne située aux alentours de 150 m parfois même 180 m (Agas) (= zones d'absorption et de transfert vertical, de B. GÈZE, 1973 a p. 14) ;

(12) Bas du puits Akohoy (—37 m), galerie plongée et explorée, sur plus de 100 m (A.S.N.).

(13) Ce schéma paraît être applicable régionalement. Dans le karst du canyon inférieur du Gardon, une zonation sensiblement identique existe, nous avons pu l'étudier en amont de Collias.

- Z2 : peu épaisse (30-40 m), mais très importante sur le plan de la karstification actuelle car elle est active et liée à la frange de balancement positif et négatif du niveau piézométrique (= zone de transfert horizontal de B. GÈZE, 1973 a p. 14) ;
- Z3 : zone phréatique noyée de l'eau de fond-épaisseur 30 m au minimum (14) (= zone noyée de B. GÈZE, 1973 a p. 14).

Dans ce cas particulier, et à quelques nuances près, il correspond au total à la zonation proposée par les auteurs précités.

IV — CONCLUSION : LE TYPE DE KARST ACTUEL.

D'après ce que nous avons décrit, il est possible maintenant de dresser un « bilan » du karst actuel. Il faut remarquer tout d'abord que, sans tenir compte du facteur échelle, ce karst présente la majorité des phénomènes hydrogéomorphologiques classiques connus, qu'ils soient actifs ou fossiles.

En fonction des critères définis dans la terminologie de J. CVIJIC (1925 a et b), c'est un holokarst semblable en cela à la plupart des karsts languedociens dans l'Urgonien et un mérokarst dans le Barrémien inférieur et le Hauterivien. Par ailleurs, si l'on s'en réfère aux travaux de N. LLOPIS-LLAJO (1953), le karst de la Cèze est de type mérofossile avec une fossilisation partielle causée par une sédimentation présentant deux aspects :

- sédimentation allochtone : encrassement du karst hypogé par les débris des anciennes couvertures tertiaires (surtout le Pliocène) (15) ;
- sédimentation autochtone : sédiments lithoclastiques ou résultant de la calcification (stalagmitisation etc.).

C'est dire que c'est un karst localement ancien, mais aussi et très largement, récent et en relations avec le creusement post-Miocène de la Cèze. Actuellement actif en profondeur et semi-fossile dans la zone vadose il témoigne au total de l'efficacité des phases de la karstification plio-quaternaires déclenchées par les paléoclimats.

Nîmes, août 1973.

(14) Effectivement reconnus.

(15) H. POUZANCRE (1971, p. 54-55) explique les teneurs élevées en chlorures et en sulfates des eaux de la bordure N-E du plateau de Méjanne le Clap, par leur transit sur des lambeaux d'une couverture détritique plio-cène qui, ravinée, aurait été entraînée et piégée dans le karst.

CARTOGRAPHIE.

- Cartes topographiques au 1/25 000. Alès (XXVIII - 40) N°s 3-4, 7-8. Pont Saint Esprit (XXIV) - 40 N°s 1-2, 5-6.
- Cartes géologiques au 1/80 000. Alès (3^e ed.) et Orange 3^e ed.).

BIBLIOGRAPHIE.

Les travaux régionaux ont déjà été synthétisés dans deux écrits (G. FABRE, 1972 a, p. 178 à 196 et 1973 b, p. 28 et 82 à 85), c'est pourquoi, pour ne pas trop alourdir cette bibliographie, on n'a mentionné ici que les publications plus récentes et celles citées dans le présent article.

- AGNEL (M. et A.) — 1970 — Grotte des Fées. *Travaux de la S.C.S.P.*, 72 p., 2 phot., 21 pl. h.t.
- BOURGUIN (A.) — 1945 — Hydrographie karstique : la question du niveau de base. *Rev. de Géog. Alpi.*, 33, 1, p. 99-107, 2 phot. h.t.
- BRETT (J. H.) — 1942 — Vadose and phreatic features of limestone caverns. *Jour. Geol. USA*, 50, p. 675-811.
- CASTANY (G.) — 1967 — Traité des eaux souterraines. Ed. Dunod, 2^e ed., 661 p.
- CVIJIC (J.) — 1918 — Hydrographie souterraine et évolution morphologique du karst. *Rev. des trav. de l'Inst. Géog. Alpi.* (Grenoble), 61, 4, 56 p., 3 pl.
- CVIJIC (J.) — 1925 a — Types morphologiques des terrains calcaires : le holokarst. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 180, 592-594.
- CVIJIC (J.) — 1925 b — Le mérokarst. *C. R. A. S. Paris*, 180, p. 592-594.
- CVIJIC (J.) — 1960 — La géographie des terrains calcaires. *Monog. Acad. Serbe Sci. Arts. Beograd*, T 34, 212 p.
- DAVIS (W. M.) — 1930 — Origin of limestone caverns. *Bull. Géol. Soc. Amér.*, T 41, p. 475-628.
- FABRE (G.) — 1971 — Pompage aux Angostines dans les Hautes Garrigues du Gard. *Bull. du Com. Départ. de Spéléo. du Gard*, n° 15, 1^e sem., p. 22-24, 1 fig. in texte.
- FABRE (G.) — 1972 a — Les Garrigues Septentrionales du Gard. Etude de géomorphologie karstique. Thèse Doct. 3^e Cycle géog. Montpellier, 198 p., 5 cartes dont 1 carte h.t. au 1/50 000, 19 pl. in texte.
- FABRE (G.) — 1972 b — Le problème du Gard souterrain et de la Grotte de Pâques dans les Garrigues niçoises. *Spelunca bull.*, 1, p. 14-15, 2 Fig. in texte.
- FABRE (G.) — 1972 c — Le drainage du cours supérieur de l'Alauzène karstique dans les garrigues septentrionales du Gard. *Bull. de la Soc. d'Etud. des Sci. Nat. de Nîmes*, 52, p. 109-119, 2 pl. et 2 tabl. in texte.
- FABRE (G.) — 1973 a — Les écoulements actuels dans un karst du bassin du Gard : le Malgoirès - Lens. Essai de mise au point. *Méditerranée*, 3, p. 67-80.
- FABRE (G.) — 1973 b — Observations sur les circulations souterraines karstiques du Languedoc oriental, principalement d'après des résultats de tracages et celles des explorations « in situ ». Dipl. d'Et. Sup. de Géol., fac. Sci. Montpellier, 85 p., 10 tabl. et 17 pl. in texte.
- FABRE (G.) et LACROIX (M.) — 1973 — Mise au point sur les résultats des explorations d'un ponor languedocien : le Camellié. *Spelunca bull.* (à paraître, 6 p., 1 pl.).
- FENELON (P.) — 1954 — Le relief karstique. *Norois*, t. 1, n° 1, p. 51-77.
- GEZE (B.) — 1939 — Influence de la tectonique sur la localisation des sources vauclusiennes. *Actes du 1^e Cong. Natio. de Spéléol.*, p. 5-14, *Spelunca Mazamet*.
- GEZE (B.) — 1965 — Les conditions hydrogéologiques des roches calcaires. *Chronique d'hydrogéologie du B.R.G.M.*, 7, p. 9-39.

- GEZE (B.) — 1973 a — Lexique des termes français de spéléologie physique et de karstologie. *Ann. Spéléol.*, 28, 1, p. 1-20.
- GEZE (B.) — 1973 b — Les phénomènes karstiques, Géologie 2, l'évolution de la terre, encyclo. de la Pléiade, p. 70-102.
- GRUND (A.) — 1903 — Die karsthydrographie. Studien aus Westbonien. A. Pencks geogr. Abhandl., Leipzig, Teubner, 7, 3, 200 p.
- LEMAIRE (B.) — 1966 — Etude hydrogéologique des bassins de l'Auzonnet et de l'Avène amont (bordure des Cévennes au N d'Alès, Gard). Rapport B.R.G.M. DSGR 66 A5, 49 p.
- LLOPIS-LLADO (N.) — 1953 — Karst holofossile et mérofossile. Actes 1^e Cong. Intern. de Spéléol., Paris T2, p. 41-50.
- MAHEU (J.) — 1902 — Contribution à l'étude des eaux souterraines du Gard. *Bull. S.E.S.N.*, 30, p. 87-92.
- MARTEL (E. A.) — 1921 — Nouveau traité des eaux souterraines. O. Doin, Paris, 840 p.
- MAZAUERIC (F.) — 1904 — Explorations hydrologiques dans les régions de la Cèze et du Bouquet. *Mém. de la soc. de spéléol.*, 5, 36, 54 p.
- MEINZER (O. E.) — 1923 — Outline of Ground water hydrology, with definitions. *U.S. geol. surv. water supply paper*, n° 494, 71 p, 35 fig.
- PALOC (H.) — 1961 — Hydrogéologie de la région vignaise. Thèse 3^e Cycle Sciences Montpellier, 100 p., 19 fig., 8 cart. h.t., bibli.
- PARAMELLE (Abbé) — 1856 et 1859 2^e ed. — L'art de découvrir les sources. Dalmont et Dunod, Paris, 428 p.
- POUZANCRE (H.) — 1971 — Contribution à l'étude hydrogéologique des bassins d'alimentation de la Cèze (cours moyen et inférieur, Gard). Thèse 3^e cycle CERGH fac. Sci. Montpellier, 90 p., 1 carte, 32 pl. + annexe 33 p.
- RHOADES (R.) et SINNACORI (M. N.) — 1941 — Pattern of ground-water flow and solution. *J. géol.*, USA, 49, p. 785-794.
- RICOLIVI (M.) — 1968 — Contribution à l'étude hydrogéologique de la région d'Uzès. Thèse Doctorat de spécialité CERH Montpellier, 100 p., 26 pl. et 8 cartes h.t.
- SALVAYRE (H.) — 1969 — Contribution à l'étude hydrogéologique de la région méridionale des Grandes Causes. Thèse d'Etat Sci. Bordeaux, 2T dactylo. T1 texte 361 p., T2 annexes.
- SCHOELLER (H.) — 1962 — Les eaux souterraines. Masson et Cie, Paris, 642 p.
- SOKOLOV (D. S.) — 1967 — Hydrodynamic zoning of karst water. Act. Col. Dubrovnik AIHS Unesco, p. 204-207.
- SWINNERTON (A. C.) — 1932 — Origin of limestone caverns. *Bull. Géol. Soc. Amer.*, 43, p. 663-694.
- SWINNERTON (A. C.) et ALLYN (C.) — Hydrology of limestone terranes. (*in Physics of the Earth*, IX : hydrology, chap. 14, p. 656-677), New-York Mc Graw Hill.
- VANDENBERGHE (A.) — 1964 — Remarques sur les théories karstiques. *Bull. B.R.G.M.*, 2, p. 33-50.
- VAN DEN BROEK (E.), MARTEL (E. A.) et RAHIR (E.) — 1910 — Les cavernes et les rivières souterraines de Belgique étudiées spécialement dans leurs rapports avec l'hydrologie des calcaires et la question des eaux potables. Ed. Lamertin, Bruxelles, 2 vol.