MINISTÈRE DE
L'AGRICULTURE

MINISTÈRE DU REDÉPLOIEMENT INDUSTRIEL
ET DU COMMERCE EXTÉRIEUR

ÉTUDE DE LA VULNÉRABILITÉ DES KARSTS DU QUERCY

Problèmes posés par la protection des sources de Touzac-Soturac (Département du Lot)

DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE DU LOT
J. Campenet,
Ingénieur du Génie Rural,
des Eaux et Forêts,
Chef du Service de l'Équipement rural
et de l'Hydraulique.
A. Tarisse,
Docteur en Hydrogéologie.

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
Service Géologique Régional Midi-Pyrénées
J.-G. Astruc,
Géologue.
J. Roche
Ingénieur E.N.S.G.
J.-C. Soulé,
Docteur en Hydrogéologie.
R. Vernet,
Géologue.

Rapport du B.R.G.M.
84 AGI 376 MPY

Décembre 1984

Réalisation : Département Applications Graphiques

R E S U M E

Le département du Lot tire l'essentiel de ses ressources en eau des aquifères calcaires karstifiés du Lias, du Jurassique moyen et supérieur et du Crétacé.

La grande vulnérabilité de ces aquifères nécessite la mise en oeuvre de mesures de protection efficaces qui font fréquemment appel à des investigations complexes.

L'étude présentée ci-après a pour objectif de proposer une approche méthodologique adaptée aux problèmes particuliers posés par la protection des aquifères calcaires du département du Lot.

Elle a été réalisée conjointement par la Direction Départementale de l'Agriculture du Lot et par le Service Géologique Régional Midi-Pyrénées du B.R.G.M., au titre de ses activités de Service Public financées par le Ministre du Redéploiement industriel et du Commerce extérieur.

Le groupe de sources étudié (TOUZAC-SOTURAC-LENCLIO) a été choisi en raison de son intérêt en tant que ressource, de la complexité de ses modalités d'alimentation et de la diversité des problèmes de protection posés.

Tous les facteurs nécessaires à la compréhension du fonctionnement de ces exutoires karstiques ont été étudiés : hydrogéologie régionale et locale, comportement hydraulique des sources, hydroclimatologie régionale, géochimie, régime thermique des eaux, traçages.

La synthèse des informations acquises par les différentes méthodes mises en oeuvre a permis d'aboutir à une interprétation de l'origine des eaux des différentes sources. Les zones principalement impliquées dans l'alimentation des sources de TOUZAC-SOTURAC ont été notamment définies et ont fait l'objet d'une cartographie détaillée de la vulnérabilité à la pollution.

La démarche méthodologique adoptée pour cette étude, pourra être, sans difficulté, transposée à l'étude de la protection d'autres exutoires karstiques.

TABLE DES MATIERES

RESUME

1 - INTRODUCTION - MOTIVATION DE L'ETUDE

2 - LOCALISATION DES SOURCES ETUDIEES

3 - CADRE GEOLOGIQUE

3.1. Cadre géographique et géologique régional
3.2. Description des terrains
3.3. Structure

4 - HYDROGEOLOGIE

4.1. Définition des systèmes aquifères
4.2. Phénomènes karstiques

5 - HYDROLOGIE

5.1. Etude hydraulique des sources de Touzac-Soturac

5.1.1. Considérations générales
5.1.2. Estimation des débits des sources de Touzac-Soturac
5.1.3. Estimation du bassin d'alimentation théorique des sources de Touzac-Soturac

5.2. Etude hydraulique de la source de Lenclio

5.2.1. Considérations générales
5.2.2. Données hydrométriques antérieures
5.2.3. Données hydrométriques récentes
5.2.4. Estimation du bassin d'alimentation théorique de la source de Lenclio

5.3.Conclusions

6 - CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE REGIONALE

6.1. Objectifs de l'étude climatologique
6.2. Période étudiée et données utilisées
6.3. Estimation de la pluie efficace
6.4. Situation de la période étudiée
6.5. Alimentation fournie par le plateau situé au Sud des sources étudiées

6.6. Alimentation possible par les vallées situées au Nord de la zone étudiée

6.7. Autres possibilités d'alimentation

7 - GEOCHIMIE

7.1. Caractères chimiques

7.1.1 Bicarbonates
7.1.2 Nitrates
7.1.3 Sulfates
7.1.4 Chlorures
7.1.5 Silice
7.1.6 Magnésium et rapport Ca/Mg
7.1.7 Oxygène dissous
7.1.8 Eléments traces

7.2. Caractères physiques : turbidité des eaux
7.3. Conclusions

8 - REGIME THERMIQUE

9 - EXPERIENCE DE COLORATION

10 - CONCLUSIONS

11 - CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DES AQUIFERES DANS LE SECTEUR DES SOURCE DE TOUZAC-SOTURAC, BOUYSSAC, LENCLIO

11.1. Description de la vulnérabilité des différents terrains
11.2. Inventaire des sources potentielles de pollution

12 - CONCLUSIONS GENERALES

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de situation - Schéma géologique régional

Figure 2 : Plan de situation - Sources de Touzac et Touzac (46)

Figure 3 : Groupement spéléologique de la Charente

Figure 4 : Comparaisons stratigraphiques

Figure 5 : Schéma structural régional

Figure 6 : Schéma structural détaillé

Figure 7 : Coupe géologique de l'Ouest du Quercy entre les vallées du Tarn et de la Vézère

Figure 8 : Coupe schématique interprétative au niveau des émergences karstiques de Touzac-Soturac

Figure 9 : Coupe de la vasque de Touzac

Figure 10 : Source de Touzac - Relation entre le coefficient de sous-écoulement et la cote N G F du Lot

Figure 11 : Source de Lenclio - Plan de situation

Figure 12 : Schéma karstique de l'ensemble sourcier de "Lenclio"

Figure 13 : Courbe des pluies efficaces annuelles 1946-1979 classées

Figure 14 : Evolution des teneurs en bicarbonates - Touzac-Soturac-Bouyssac - Lenclio - le Lot

Figure 15 : Evolution des teneurs en nitrates Touzac - Soturac - Bouyssac - Lenclio - le Lot

Figure 16 : Coloration de la Riviérette

Figure 17 : Carte de la vulnérabilité

Figure 18 : Traitement des ordures ménagères

Figure 19 : Assainissement

TABLE DES ANNEXES et PLANCHE H.T.

ANNEXE 1 - Description de la Fontaine Bleue de Touzac par G. de Lavaur

ANNEXE 2 - Débits globaux des sources de Touzac-Soturac (débits de sous-écoulement calculés, débits de trop-plein mesurés)

ANNEXE 3 - Chronique des débits du système de Touzac-Soturac de Janvier 1982 à Février 1983

ANNEXE 4 - Chronique des débits de la source de Lenclio de Novembre 1970 à Novembre 1971

ANNEXE 5 - Débits de la source de Lenclio de Mai 1982 à Mai 1984

ANNEXE 6 - Chronique des débits des sources de Lenclio et des Chartreux de Janvier 1983 à Décembre 1983

ANNEXE 7 - Montsempron-Libos : pluies totales et pluies efficaces de Septembre 1980 à Décembre 1983

ANNEXE 8 - Puy-l'Evêque : pluies totales et pluies efficaces de Septembre 1980 à Décembre 1983

ANNEXE 9 - Tournon d'Agenais : pluies totales et pluies efficaces de Septembre 1980 à Décembre 1983

ANNEXE 10 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Touzac

ANNEXE 11 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Soturac

ANNEXE 12 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Bouyssac

ANNEXE 13 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Lenclio

ANNEXE 14 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la rivière Lot

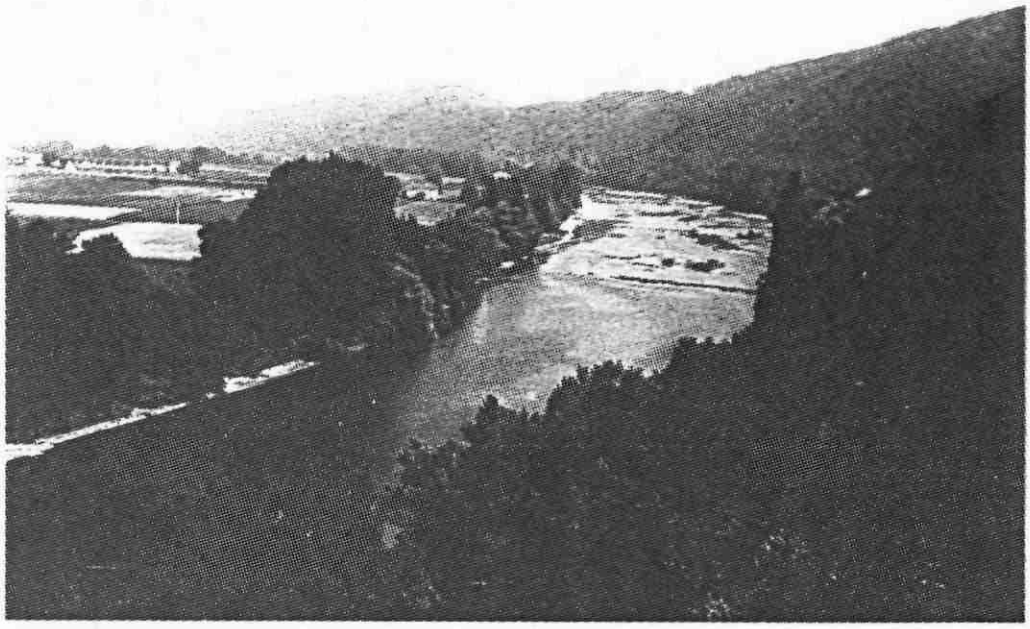
ANNEXE 15 - Evolution de la température des eaux des sources de Touzac, Lenclio et Bouyssac de Janvier 1983 à Mars 1984

ANNEXE 16 - Evolution de la température des eaux des sources de Touzac de Janvier 1983 à Mars 1984 et des Chartreux d'Août 1975 à Décembre 1976

ANNEXE 17 - Evolution comparée de la température des eaux des sources de Touzac et de Soturac et des eaux de la rivière Lot de Janvier 1983 à Juillet 1984.

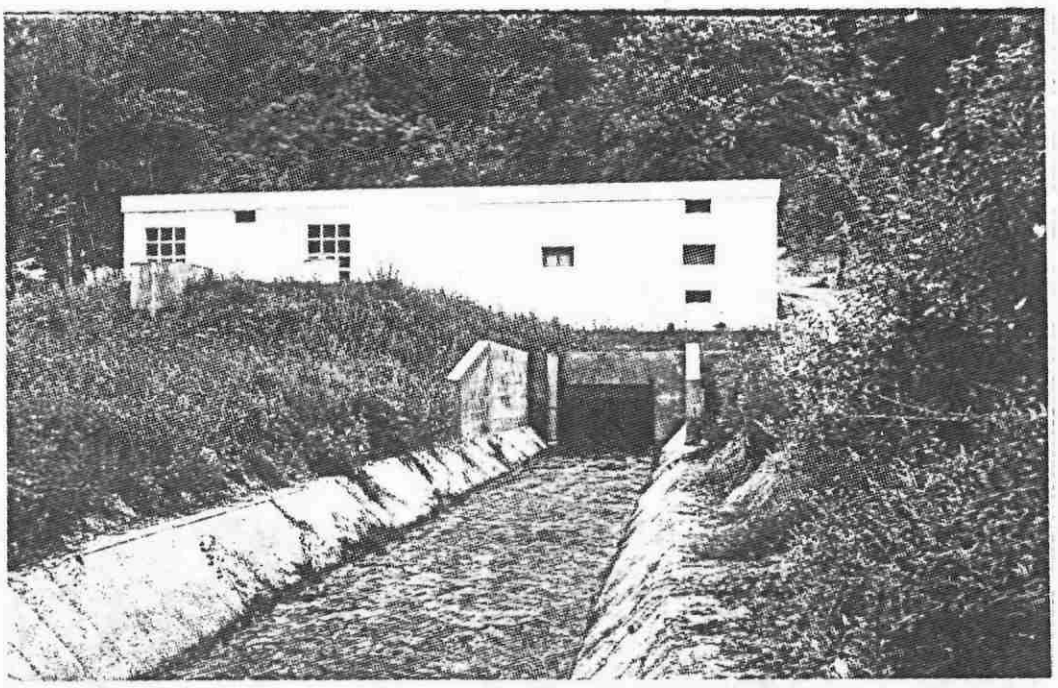
Planche 1 - Géologie du Bassin du Lot de Cahors à Fumel à 1/100 000.

La vallée du Lot



Le moulin de Leygues à la source de Touzac

Captage de Lenclio et canal de déversement



1 - INTRODUCTION - MOTIVATION DE L'ETUDE -

La majeure partie de l'alimentation en eau potable du département du LOT est assurée à partir des aquifères karstiques du Lias, du Jurassique moyen et supérieur, et du Crétacé.

Les ressources utilisées sont très généralement des résurgences naturelles, dont seule une partie du débit est captée.

La desserte en eau du LOT a par ailleurs suivi une évolution logique, où désormais, des renforcements importants complètent les premières dessertes.

Il était nécessaire, en premier lieu, de raccorder le maximum d'habitants, même à partir de ressources faibles et peu sûres en été. Il convient maintenant de fournir à chacun une eau abondante en toutes saisons.

La qualité de l'eau distribuée constitue également un facteur essentiel et chacun sait que les karsts sont, par essence, vulnérables.

Il était donc intéressant de se livrer à des investigations scientifiques sur un cas très concret.

Les sources de TOUZAC et SOTURAC serviront dans un futur proche, à renforcer le secteur de la basse vallée du Lot et des plateaux qui la bordent au Nord et au Sud. Leurs modalités d'alimentation sont mal connues et leur protection efficace sera indispensable.

S'exerçant sur un tel sujet, la collaboration entre le B.R.G.M spécialiste reconnu dés problèmes d'eaux souterraines et la D.D.A. du LOT, Conseille Technique des collectivités utilisatrices et très proche, depuis longtemps, des problèmes de terrain, grâce à la présence d'un hydrogéologue ne pouvait qu'être fructueuse.

Et la présente étude montre que, contrairement à certaines idées trop répandues, la satisfaction des usagers ne peut être assurée correctement que s'il existe, bien à l'amont, une appréhension très fine des problèmes techniques.

L'étude de la protection des sources de TOUZAC et SOTURAC, qui fait l'objet du présent rapport a donc été engagée conjointement par la D.D.A. du LOT et le B.R.G.M. en 1981. Les tâches respectives ont été définies de la façon suivante :

pour la D.D.A. :

- réalisation d'une étude hydrométrique des différentes sources, avec observations limnigraphiques complémentaires sur la rivière LOT.

- réalisation d'une étude comparative de la qualité des eaux complétée par une étude hydrothermique.

- contribution à la connaissance du fonctionnement hydraulique du réservoir par mise en oeuvre des colorations nécessaires.

- élaboration partielle de la synthèse des travaux effectués.

pour le B.R.G.M. :

- recueil et dépouillement des données disponibles.
- étude géologique et hydrogéologique complémentaires (acquisition des données sur le terrain).
- étude climatologique.
- cartographie de la vulnérabilité à la pollution des zones définies comme zones d'alimentation des sources étudiées.

Pendant les trois années consécutives 1982-1983-1984, la D.D.A. a poursuivi, avec ses moyens propres, le programme dont elle avait la charge. Le B.R.G.M., Service Géologique Régional Midi-Pyrénées, est intervenu, à la demande de la Direction régionale de l'Industrie et de la Recherche/Midi-Pyrénées, au titre de ses activités de service public 1981, 1982 et 1984. Le financement des travaux effectués par le B.R.G.M. a été assuré par le Ministère du Redéploiement industriel et du Commerce extérieur.

Les travaux effectués par la D.D.A. ont été dirigés par J. CAMPENET et plus particulièrement suivis par A. TARISSE. En ce qui concerne le B.R.G.M., J.G. ASTRUC, J. ROCHE, J.C. SOULE et R. VERNET ont participé à l'opération.

La rédaction du présent résulte de la collaboration entre A. TARISSE et J. ROCHE.

2 - LOCALISATION DES SOURCES ETUDIEES

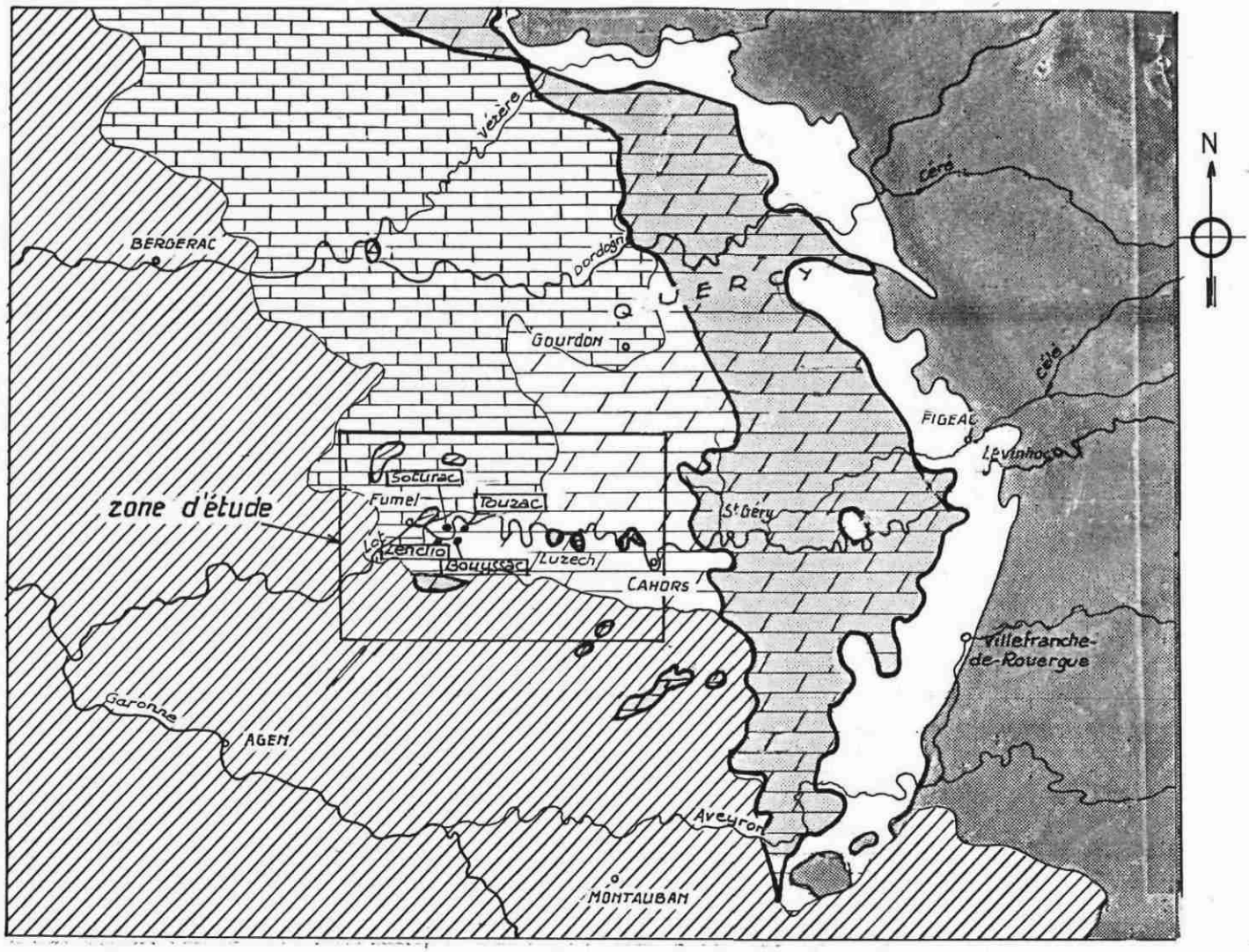
Les sources de Soturac et de Touzac font partie d'un groupe d'émergences karstiques importantes, localisées dans la vallée du Lot, à la limite occidentale du département du Lot. (cf. fig. 1 et pl. 1 h-t).

Ces émergences, au nombre de 6, sont de l'amont vers l'aval :

- la source du Port de Vire, située dans le lit même du Lot,
- la source de Touzac, dite "Fontaine bleue", située en rive gauche du Lot, au lieu-dit Moulin de Leygues. Cette source apparait dans une vasque profonde de 12 m, à 50 m environ de la rive gauche du Lot et à environ 4 m au-dessus du niveau moyen de cette rivière (niveau régularisé par les barrages). A l'aval de la vasque, des émergences sont également visibles, dans le lit du ruisseau qui s'en échappe.
- la source de Soturac, située en rive droite du Lot, face à la précédente. Elle émerge dans une vasque profonde de 7 m, encastrée dans la berge même du Lot et son niveau d'émergence est directement subordonné à celui de la rivière,
- la source de Bouyssac, située en rive gauche du Lot, à 1 km en aval des précédentes. Elle apparaît également dans une petite vasque à une cinquantaine de mètres de la rivière et à environ 3 m au-dessus du niveau de celle-ci,
- la source de Lenclio, 2 km plus en aval, apparaît au pied des falaises qui bordent le lit du Lot dans une de ses parties concaves. Elle comporte plusieurs émergences, notamment dans le lit du Lot, sur sa berge même et enfin à une vingtaine de mètres de la rivière. C'est cette dernière émergence qui est captée par le syndicat des eaux de la Lémance (puits cuvelé, profond de 5 m),
- les sources de Gaillardel (département du Lot-et-Garonne), situées en rive droite du Lot, à 2 km en aval de Lenclio, sont localisées sur une cinquantaine de mètres de long, en bordure du Lot, dans le talus d'un placage alluvial.

La présente étude concernant plus particulièrement les sources de Soturac et de Touzac, on trouvera ci-après, un plan de situation détaillé (fig. 2) et les relevés spéléologiques effectuées dans l'émergence de Soturac par M. SEGUIN du groupement spéléologique de la Charente. (fig. 3).

PLAN DE SITUATION
SCHEMA GEOLOGIQUE REGIONAL



Ech. : 1/1000000

- Affleurements des terrains anté triasiques
- Affleurements des terrains liasiques et triasiques
- Affleurements des terrains du Dogger au Kimméridgien inférieur
- Affleurements des terrains du Kimméridgien supérieur au Portlandien
- Affleurements des terrains du Crétacé
- Affleurements des terrains du Tertiaire (Molasses)

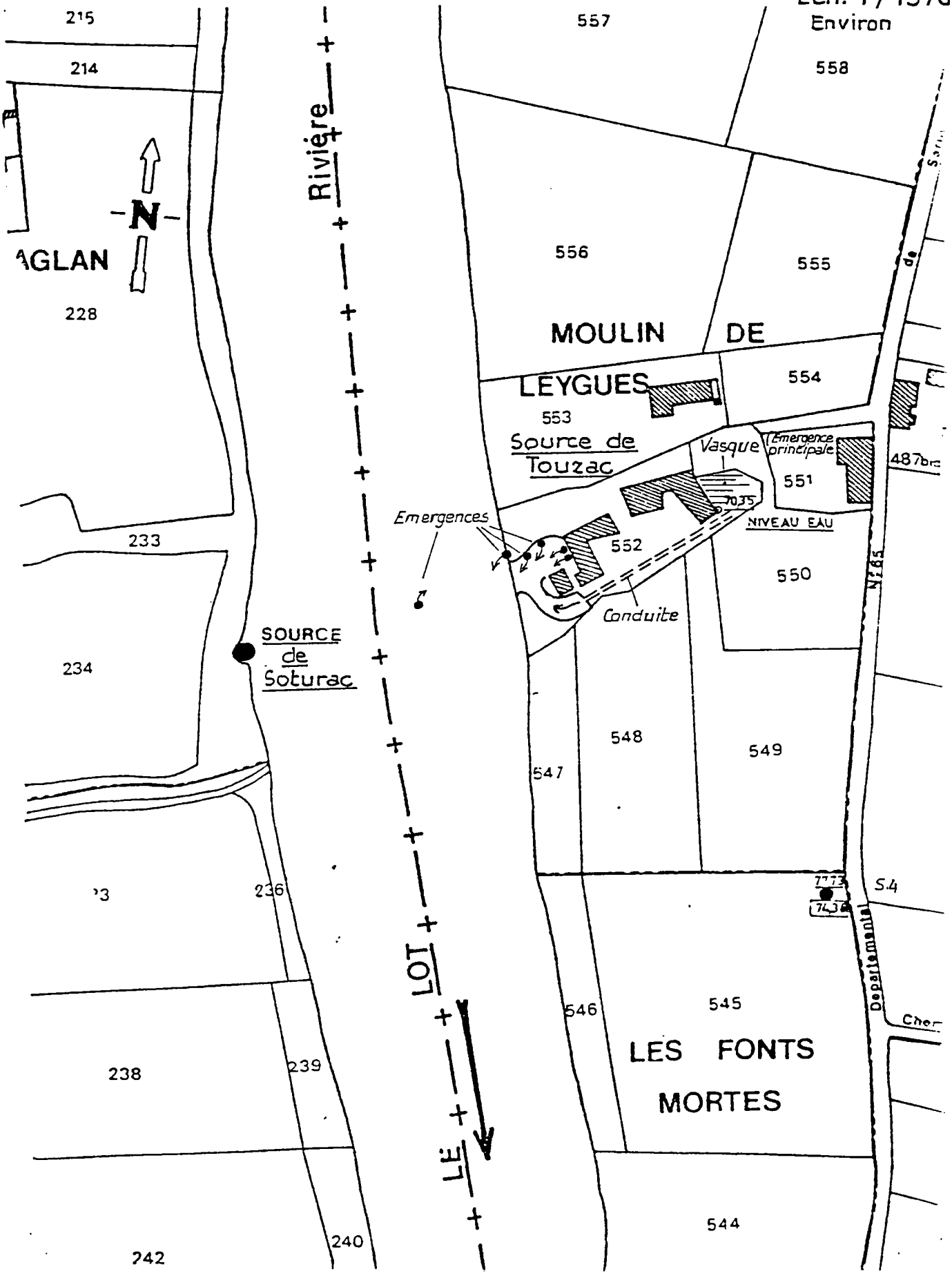
Fig. 2

SOURCES de SOTURAC et TOUZAC (46)

—— Plan de Situation ——

Ech. 1 / 1970

Environ



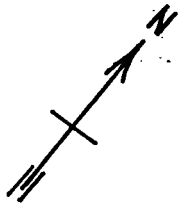
GROUPEMENT SPELEOLOGIQUE DE LA CHARENTE

Fig. 3

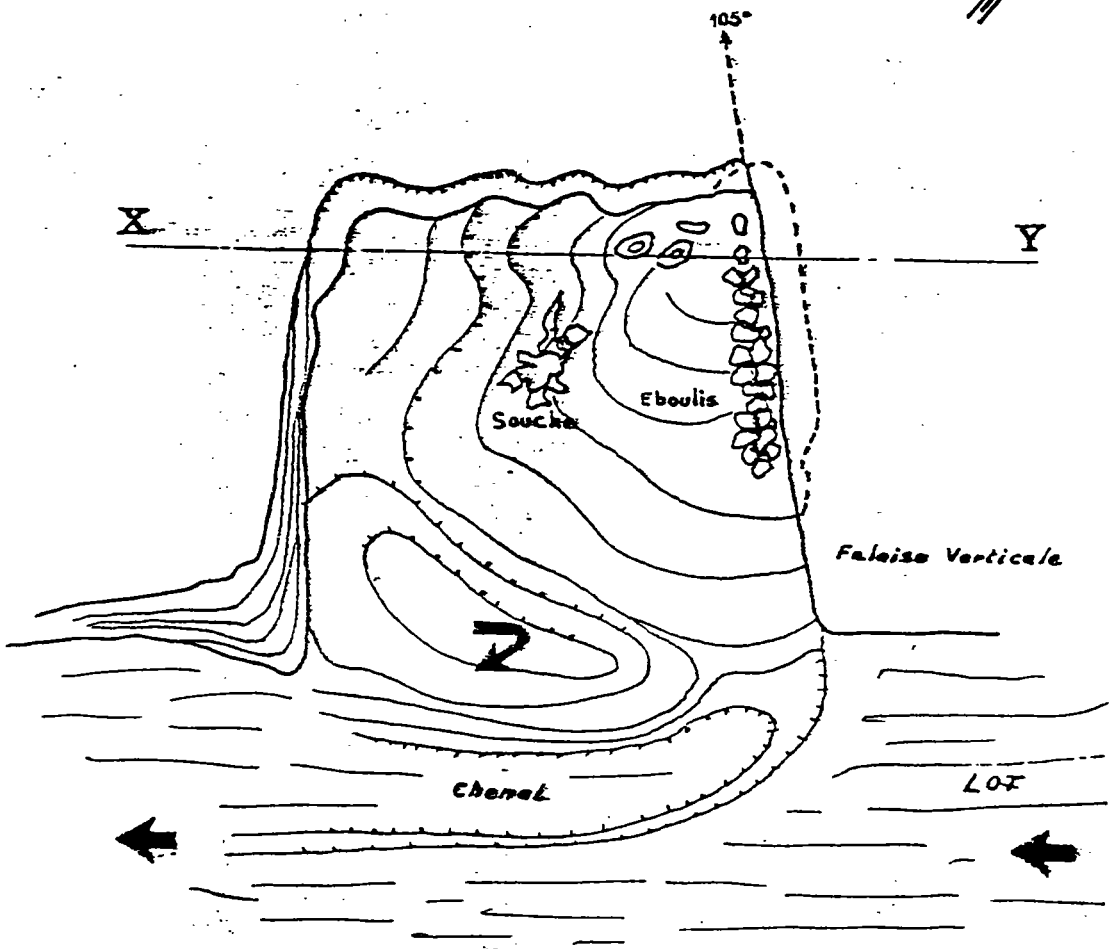
EMERGENCE DE SOTURAC

Exploration: SEGUIN.M

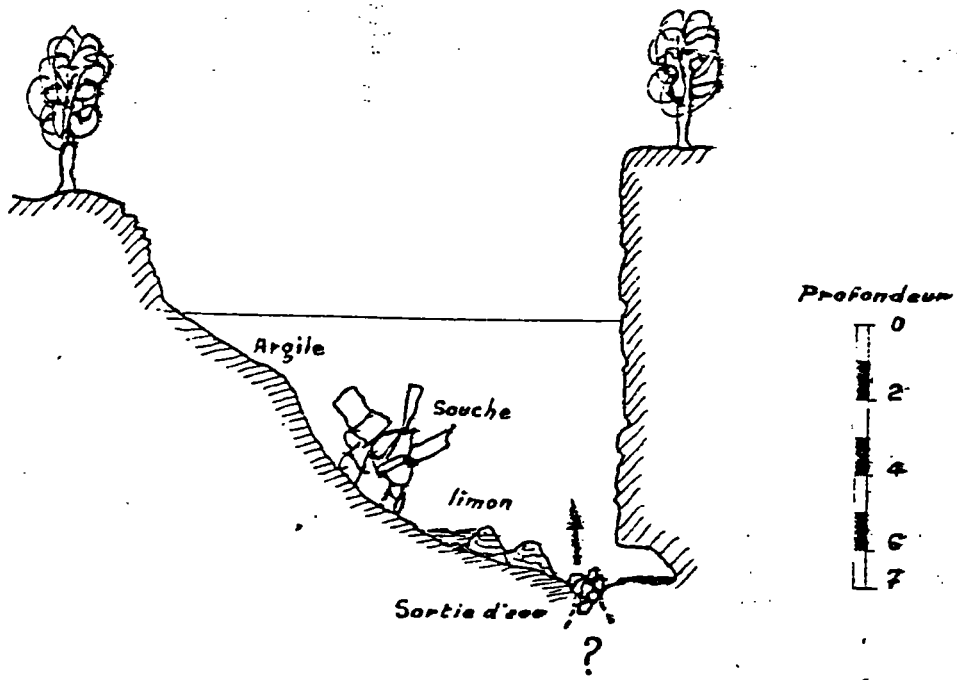
Plan: END.6



PLAN



COUPE X-Y



Relevé effectué au P.S.V

Les relations entre les deux sources de Soturac et de Touzac ne font aucun doute et il nous a semblé intéressant à ce sujet de citer en annexe les observations publiées en 1954 par G. de Lavaur dans "Initiation à l'exploration souterraine", AMIOT-DURAND, Paris. (cf. annexe 1).

Actuellement, une émergence est visible, en période d'étiage, dans le lit même du Lot, entre les deux sources.

3 - CADRE GEOLOGIQUE

Au démarrage de l'étude, la région était couverte par des cartes géologiques à 1/80 000, et par les coupures récentes, à 1/50 000,de Fumel et de Montcuq. Afin de disposer d'informations géologiques aussi complètes que possible, des levers géologiques complémentaires ont été entrepris par J.G. ASTRUC, en liaison avec le programme de cartographie géologique du B.R.G.M. (service public). Ces levers ont porté essentiellement sur les coupures à 1/50 000 Puy l'Evêque et Penne-d'Agenais. Ils ont permis d'apporter un certain nombre de précisions sur l'environnement géologique des sources de Soturac et de Touzac et notamment sur les caractéristiques structurales de l'aquifère jurassique dont elles sont tributaires.

On a également utilisé, pour élaborer la synthèse présentée ci-après, les documents publiés par A. CAVAILLE, M. DURAND-DELGA, B. GEZE, T. PELISSIE, J.P. PLATEL et J. VOUVE.

La planche h-t 1 présente, reportés à 1/100 000, les contours géologiques ainsi de deux coupes d'ensemble, l'une du Sud vers le Nord, l'autre d'Ouest en Est.

3.1. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE REGIONAL

La région étudiée se trouve, sur le plan géographique, à la limite de deux régions naturelles :

- Les Causses du Quercy, à l'Est, qui s'étendent le long de la bordure occidentale du Massif Central depuis le Bassin de Brive, au Nord, jusqu'au dôme de la Grésigne, au Sud (région de Vaour, Castelnau-de-Montmiral). Ces Causses sont constitués par les plateaux calcaires du Jurassique moyen et supérieur (Causses de Martel, Gramat, Gréalou et Limogne). A l'Est, entre ces plateaux et le socle du Massif Central, affleurent les formations liasiques, calcaires et marneuses (Limargue et Terrefort).

- Le Bas-Quercy et l'Agenais, à l'Ouest et au Sud, qui s'étendent jusqu'à la Garonne. Il s'agit d'un pays de plateaux et de "serres" de calcaires lacustres découpés par des vallées creusées dans les molasses.

Sur le plan géologique, cette région appartient au "Bassin nord-aquitain". C'est une plate-forme, de faible pendage général vers l'Ouest, c'est-à-dire vers le centre du Bassin Aquitain. Le socle qui se trouve rarement à plus de 2 km de profondeur est surmonté par le Trias et le Jurassique qui atteignent 1000 à 1700 m de puissance selon les endroits. Il n'y a pas de Crétacé inférieur et le Crétacé supérieur, dans la zone qui nous intéresse, a une épaisseur de l'ordre de 220 m. Le Tertiaire, peu épais et discontinu au Nord, prend de l'importance vers l'Ouest et vers le Sud.

Ce Bassin est subdivisé par des rides WNW-ESE qui individualisent notamment :

- une "dépression quercynoise" qui va des Causses du Quercy au Périgord et englobe donc la zone concernée par la présente étude.
- un "haut-fond de Tarn-et-Garonne", situé au Sud de la dépression quercynoise, et que l'on appelle "dôme de Castelsarrasin-Montauban".

3.2. DESCRIPTION DES TERRAINS.

Les séries sédimentaires post-paléozoïques qui affleurent dans les Causses du Quercy se développent sur une puissance d'environ 1200 m, à l'Est de Cahors et de 900 m dans la zone étudiée.

Dans la région qui nous intéresse, seules les assises postérieures à l'Oxfordien affleurent. Pourtant, ainsi qu'on le verra plus loin, l'ensemble du réservoir calcaire du Jurassique moyen et supérieur est concerné par la présente étude.

On peut, dans l'état actuel de nos connaissances, considérer le Toarcien imperméable comme le "mur" de l'aquifère jurassique. C'est la raison pour laquelle seules les formations supra-toarciennes ont été décrites ci-après.

Des informations nouvelles ont été acquises ces dernières années, notamment par l'analyse des séries reconnues par forage. Elles ont permis de mettre en évidence, au sein du Dogger, des variations de faciès importantes qui entrainent une diminution de l'épaisseur des séries, de l'Est (Causses du Quercy) vers l'Ouest, et en particulier au niveau de la zone étudiée.

On ne dispose pas de "log" établi au droit de cette zone mais, d'après les observations qui ont été faites, on peut considérer que le Dogger y est comparable à celui observé plus au Sud, au niveau du Dôme de Castelsarrasin.

Au-dessus du Bathonien, la série parait similaire à celle du Causse de Limogne.

Ceci est illustré par les "log" présentés en fig. 4 (document T. PELISSIE) :

- le Dogger (Aalénien, Bajocien, Bathonien inf. et sup.) dans la région qui nous intéresse s'apparente à la description figurée par le "log" E (dôme de Castelsarrasin)

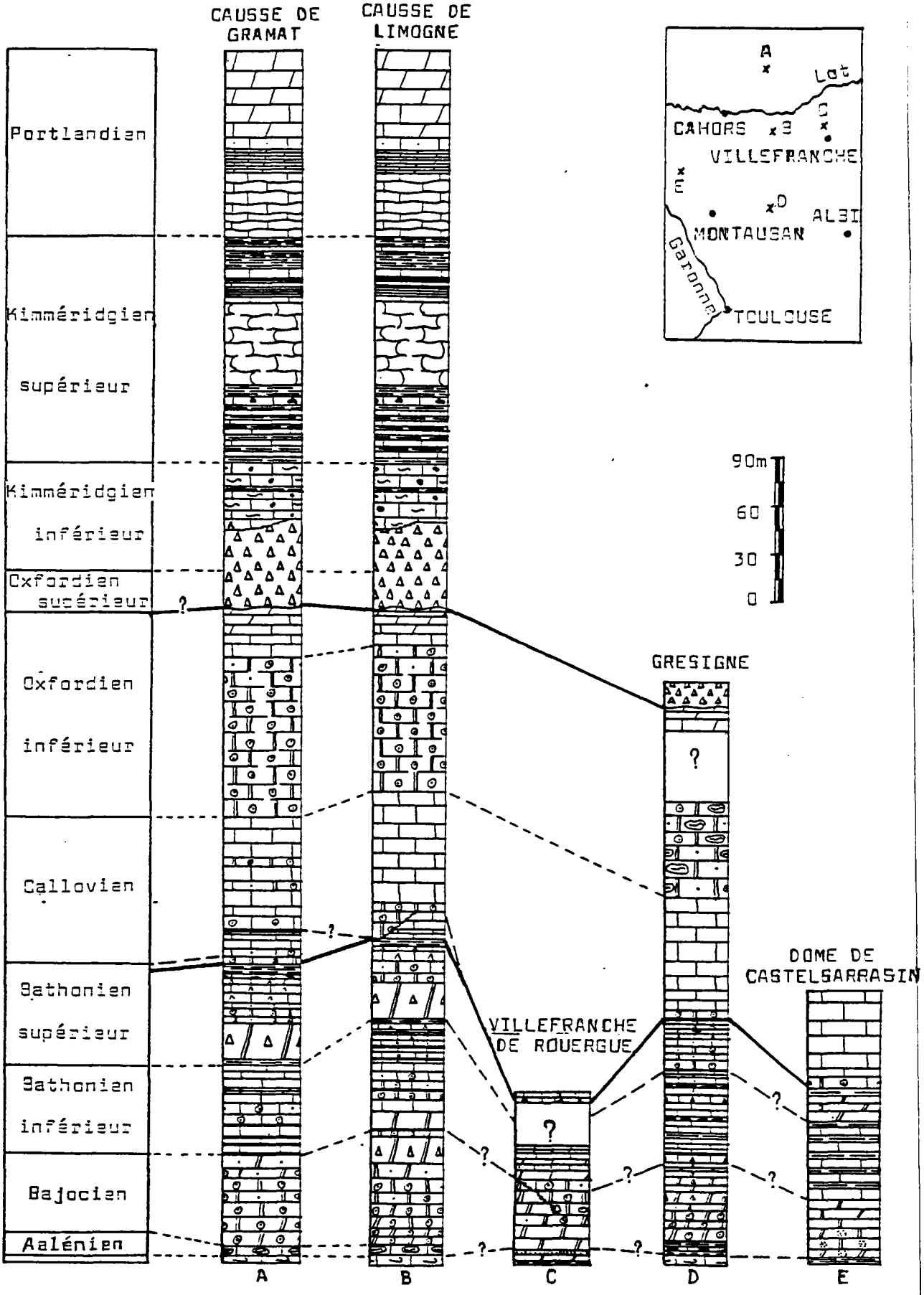
- au-dessus du Bathonien, la série est comparable à celle du Causse de Limogne (log B).

Les principales caractéristiques des différentes formations sont les suivantes :

- l'Aalénien est représenté par des calcaires bioclastiques à oncolithes, d'épaisseur variable (inférieure à 5 m)

- le Bajocien débute par une puissante série de calcaires oolithiques localement dolomitisés (50 m) surmontée de dolomies macrocristallines cargneulisées (20 m), et de calcaires oolithico-graveleux bioclastiques (5 m).

- le Bathonien inférieur se superpose à l'ensemble ci-dessus ; il débute par des micrites , des calcaires oolithico-graveleux en gros bancs admettant localement des intercalations de lignite (5 m) et des dolomies macrocristallines bréchiques (5m). Viennent ensuite des calcaires oolithiques et graveleux (25m) surmontés par 30m de calcaires et de marnes jaspées ligniteuses.



- Comparaison entre le Dogger et le Malm du Causse de Limogne, du Causse de Gramat, de Villefranche de Rouergue, de la Grésigne et du dôme de Castelsarrasin

J. Pélissié 1982

- le Bathonien supérieur est principalement représenté par des brèches, des calcaires micritiques argileux et des dolomies macrocristallines (45 m) ; cet ensemble est couronné par des marnes lacustres (5m).

- le Callovien est représenté, sur une épaisseur de 90 m par des calcaires massifs, sub-lithographiques, à passées oolithiques à la base.

- l'Oxfordien inférieur poursuit cette série carbonatée sur environ 110 m, avec des calcaires oolithiques et graveleux (90 m), surmontés de calcaires à Astartes (20 m).

- l'Oxfordien supérieur et le Kimméridgien inférieur débutent par des brèches polygéniques (50 m) auxquelles succèdent des calcaires bioturbés à galets mous (40 m).

- le Kimméridgien supérieur est marno-calcaire. Ce sont des alternances de marnes grises et de calcaires en bancs bien réglés. Ces calcaires renferment quelques niveaux oolithiques ou graveleux et vers le sommet, sont localement remplacés par des dolomies. Leur puissance est d'environ 150 m.

- le Portlandien, dont l'épaisseur est voisine de 140 m, est représenté, à la base, par des calcaires en petits bancs qui passent vers le haut à des calcaires dolomitisés puis à des dolomies massives.

La série jurassique est continue. Une importante discontinuité la sépare des assises plus récentes d'âge crétacé. Cette discontinuité correspond à une longue période d'émersion (environ 40 millions d'années) et de mouvements tectoniques si bien que les assises jurassiques plissées et faillées sont surmontées en discordance par les terrains du Crétacé supérieur :

- le Cénomanien, calcaire, est très peu épais (0 à 2 m)

- le Turonien est constitué par une quarantaine de mètres de calcaires crayeux surmontés d'une dizaine de mètres de marno-calcaires et de grès.

- le Coniacien débute par des marnes (10m) auxquelles succèdent 10 m de calcaires massifs puis une puissante assise carbonatée (70 m) constituée de calcaires bioclastiques passant, au sommet, à des calcaires gréseux qui assurent la transition avec le Santonien.

- le Santonien présente, au-dessus des calcaires gréseux, un niveau marneux d'une dizaine de mètres d'épaisseur, puis 30 m environ de calcaires bioclastiques à silex.

Le Tertiaire qui surmonte cette série crétacée, correspond à des dépôts continentaux. Il s'est, en effet,déposé après que des mouvements tectoniques aient engendré la surrection et l'émersion du Bassin Aquitain. Il est représenté, dans les secteurs qui nous intéressent, par des marnes et des calcaires crayeux ainsi que par des sables fins et localement argileux. Ces derniers, désignés parfois sous le terme ancien et imprécis de "sidérolithique", forment un manteau discontinu sur les calcaires et marnes jurassico-crétacés. Ils jouent, ainsi qu'on le verra plus loin, un rôle régulateur pafois important vis-à-vis des écoulements souterrains.

A l'Ouest de la région étudiée, le Tertiaire est représenté par l'ensemble molassique du Bassin Aquitain sous lequel s'ennoient toutes les formations du Secondaire.

Sur la carte de la planche h-t 1, on a effectué des regroupements en fonction de la nature lithologique des différentes formations. Il ne s'agit pas, à proprement parler, d'une carte géologique mais plutôt d'un document qui traduit les potentialités aquifères de ces formations et qui sera, sur le plan hydrogéologique, explicité ci-après (cf. 4). On a donc distingué :

- le Jurassique moyen et supérieur (J1-7) essentiellement carbonaté, et dont l'épaisseur totale est d'environ 500m ;

- le Kimméridgien supérieur (J8), constitué d'alternances de marnes et de calcaires (épaisseur 140m) ;

- le Portlandien (J9), carbonaté (épaisseur 140m) ;

- le Crétacé supérieur, constitué par des alternances de marnes et de calcaires discordantes sur le Kimméridigien et/ou le Portlandien (épaisseur 230m) ;

- les formations sableuses du Tertiaire ("sidérolithique") ;

- les molasses d'Aquitaine.

Les alluvions quaternaires qui n'offrent d'extension notable que dans les vallées du Lot, de la Lémance et de la Thèze n'ont pas été reportées sur la carte de la pl. h-t 1. Il s'agit de placages limono-graveleux, d'une épaisseur de l'ordre de 5m, disposés parfois en plusieurs terrasses étagées. Des surcreusements notables ont été localement reconnus par sondages. C'est le cas notamment à Touzac, aux abords de l'émergence étudiée (surcreusement de 23m).

3.3. STRUCTURE

A l'échelle régionale, les séries du Permien au Tertiaire se succèdent d'Est en Ouest avec un pendage modéré vers le centre du Bassin Aquitain. On observe cependant de nombreux accidents cassants (failles et plis-failles) ou souples (flexures) dont la plupart sont orientés suivant trois directions principales. Les interférences entre ces trois directions ont entrainé la genèse de dômes et de cuvettes.

Les directions principales qui commandent la structure géologique de la région étudiée sont :

- la direction NW-SE à NNW-SSE ou direction armoricaine ;
- la direction SSW-NNE ou direction dite "de la faille de Villefranche";
- la direction W-E à WNW-ESE ou direction pyrénéenne.

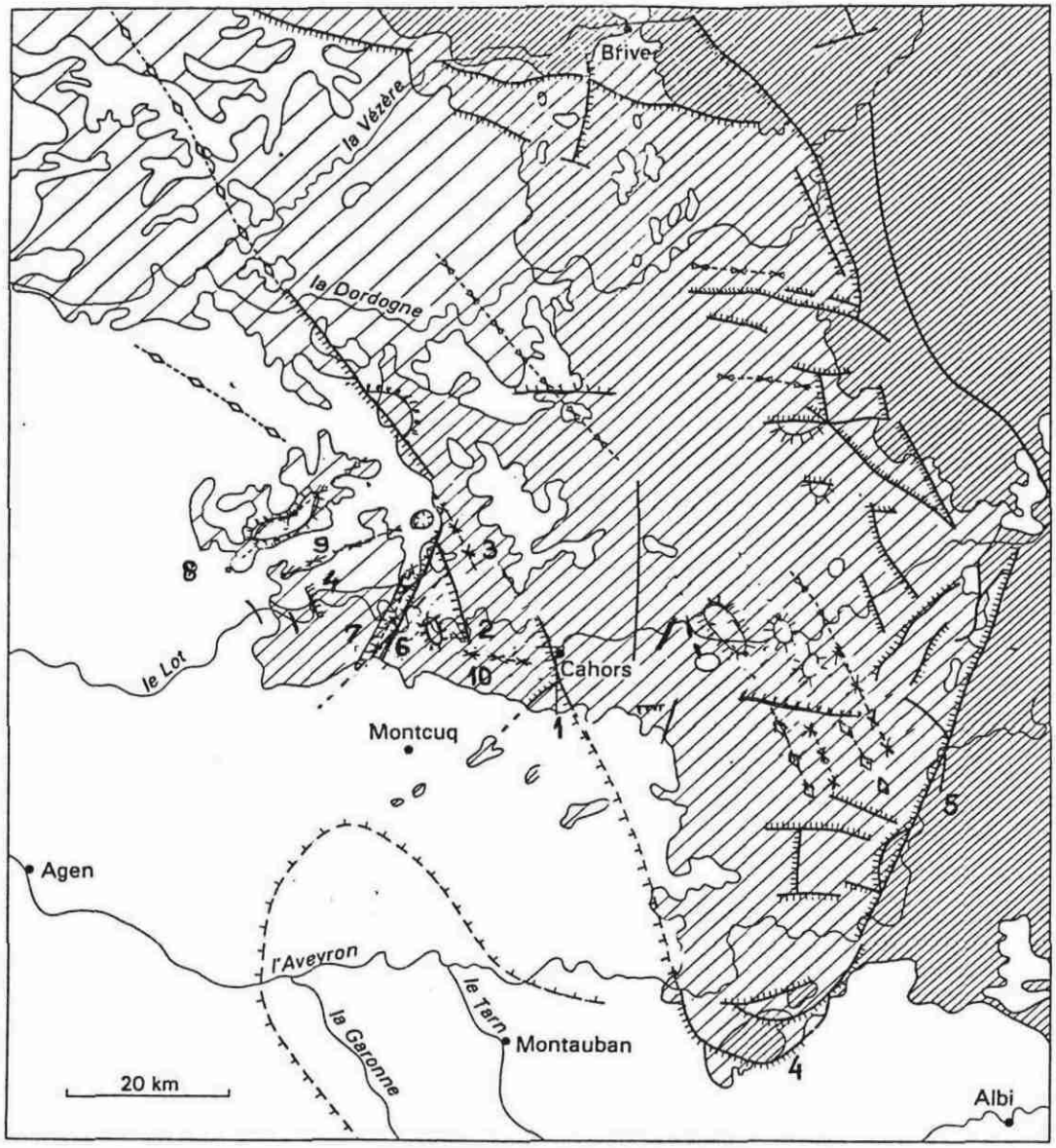
Un schéma structural régional est présenté en fig. 5. La structure de la région qui nous intéresse plus particulièrement est donnée, en détail, en fig.6. Les principaux accidents sont repérés, sur l'une et l'autre figure, par des indices citées également dans le texte.

Sur le plan régional, on remarquera surtout :

- la faille de Cahors (1) et la faille de Luzech (2), toutes deux de direction "armoricaine". Ces accidents, ainsi que d'autres, moins importants, appartenant à la même famille, seraient dûs à une phase tectonique distensive.

- la faille de Villefranche (5) qui limite, à l'Est, les Causses du Quercy qu'elle sépare du Rouergue cristallin.

Fig. 5



Tertiaire et Quaternaire

Crétacé

Faille

Failles et flexures
(les hachures indiquent la lèvre abaissée)

Axe synclinal

Trias et Jurassique

Socle hercynien

Dôme

Dôme masqué sous
les terrains tertiaires

Axe anticlinal

- Schéma structural régional

J.G. ASTRUC

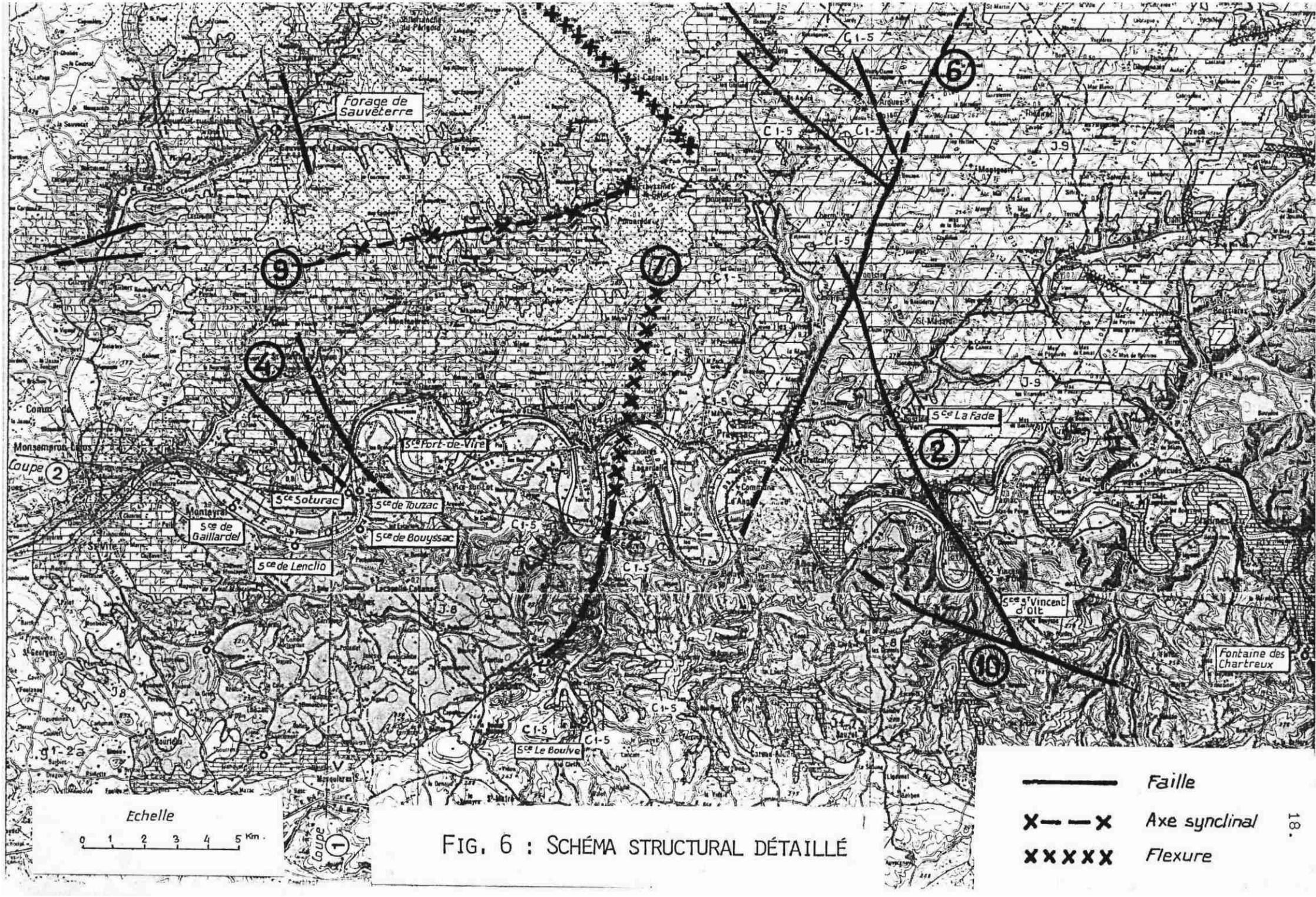


FIG. 6 : SCHÉMA STRUCTURAL DÉTAILLÉ

La région qui nous intéresse plus particulièrement se situe à l'Ouest de la faille de Cahors. Elle est, dans le détail, affectée de nombreux accidents dont les principaux sont les suivants :

- le synclinal de Saint-Médard les Arques (3), dans la vallée du Vert, dont l'axe est de direction armoricaine.

- la faille de Luzech (2), déjà citée. De direction NNW-SSE, elle se trouve décrochée par la faille de Castelfranc (6) orientée SSW-NNE.

- la flexure de Floressas-Puy l'Evèque (7)

- Plusieurs fractures visibles au niveau même des sources de Touzac-Soturac (4). Ces fractures, NNW-SSE, sont orientées parallèlement aux failles de Cahors et de Luzech.

- le synclinal de la Thèze (9), orienté ENE-WSW. Il intéresse toute la vallée du Lot dans la zone étudiée. Son axe se situe au Nord de cette vallée et son flanc sud-est se poursuit vers le Sud jusqu'à la vallée de la Rivièrette et sans doute au-delà (dôme de Castelsarrasin-Montauban). Les reconnaissances de terrain, effectuées dans le cadre de la présente étude, ont en effet permis de mettre en évidence, près de Tournon d'Agenais, des affleurements inconnus de Kimméridgien inférieur et d'Oxfordien (cf. fig. 6 et coupes de la pl. h-t 1).

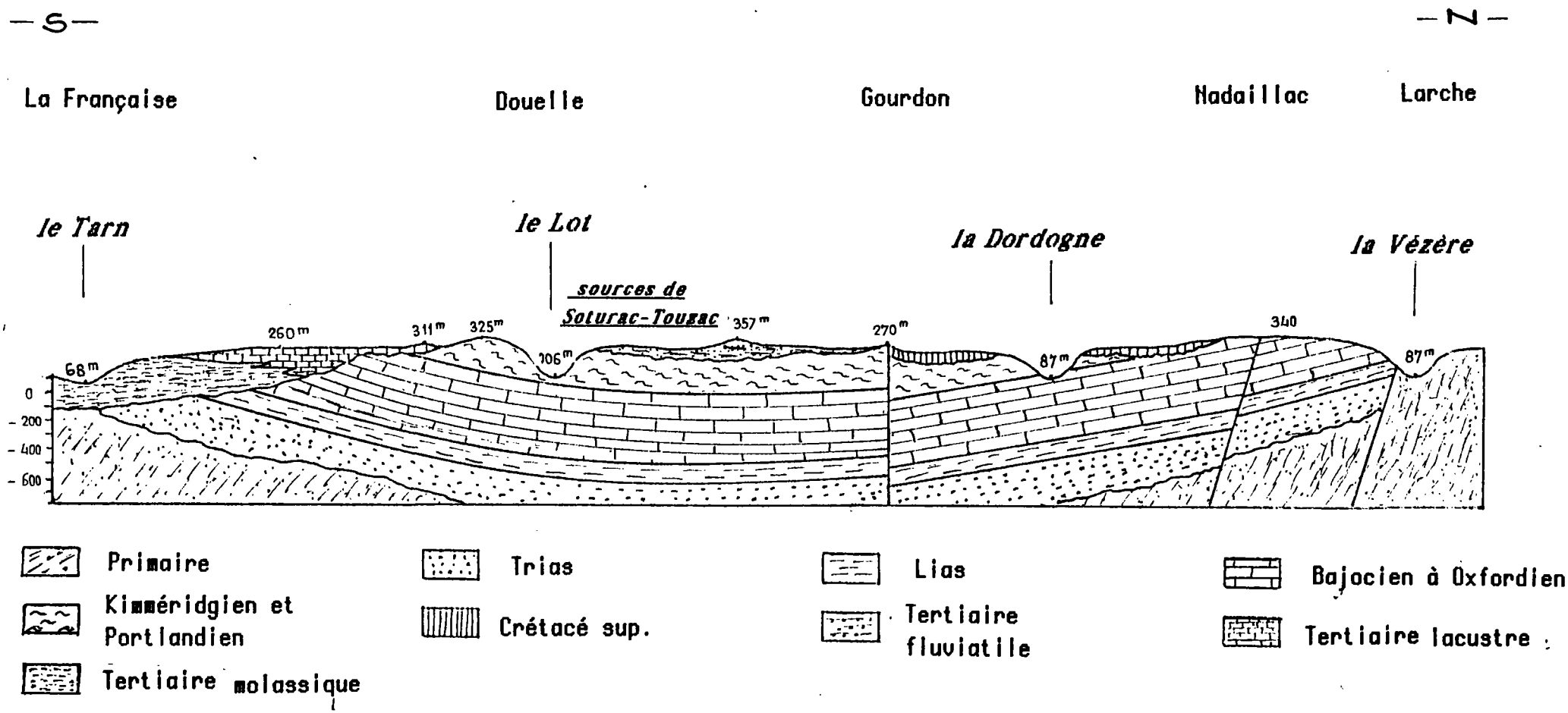
- l'anticlinal de la Lémance (8), qui succède, vers le Nord, au synclinal de la Thèze. Le Kimméridgien affleure en boutonnière sous le Crétacé supérieur dans la vallée même de la Lémance.

- la faille de Cournoux (10), au Sud du Lot, entre les failles de Cahors et de Luzech.

La structure géologique, au niveau de la basse vallée du Lot est résumée par la coupe de la fig. 7. On y observe bien la structure synclinale de la Thèze. La répartition des affleurements du Kimméridgien en rive gauche du Lot et ceux du Portlandien-Crétacé en rive droite oblige à situer l'axe de cette "gouttière", sensiblement parallèle à la vallée du Lot, au Nord de cette rivière.

Vers le Sud, on remarque le biseautage des formations secondaires sous les dépôts molassiques du Bassin Aquitain et la remontée du socle primaire constituant le mole de Montauban.

COUPE GEOLOGIQUE DE L'OUEST DU QUERCY ENTRE LES VALLEES DU TARN ET DE LA VEZERE



J.G. ASTRUC - 1984 - (inédit)

4 - HYDROGEOLOGIE

4.1. DEFINITION DES SYSTEMES AQUIFERES

L'étude lithologique des différents terrains présentée ci-dessus a permis de mesurer l'importance des formations calcaires dans toute la série jurassique post-toarcienne qui nous intéresse.

Au-dessus du Toarcien, imperméable, les différents aquifères s'organisent de la façon suivante :

- le Jurassique moyen-supérieur, de l'Aalénien au Kimméridgien inférieur, constitue "l'aquifère principal du Jurassique". Cet aquifère est limité au mur par le Toarcien et, au toit, par les marnes et calcaires semi-perméables du Kimméridgien supérieur. Au niveau des sources de Touzac, son épaisseur est supérieure à 300 m. Fortement karstifié, il est le siège d'importantes circulations d'eau souterraine. Aucune discontinuité notable ne l'affecte. Seuls les niveaux marneux du Bathonien peuvent localement constituer un écran imperméable; ils ne sont pas suffisament épais pour provoquer un cloisonnement efficace de l'aquifère. Sur le plan hydraulique, ce complexe karstique doit être considéré comme un réservoir unique, continu, depuis sa partie affleurante à l'Est (Causses du Quercy) jusqu'à sa partie captive située au Nord et à l'Ouest de la zone des sources de Touzac-Lenclio. Dans ce dernier secteur, ce réservoir est semi-captif sous le recouvrement du Kimméridgien supérieur.

A l'affleurement, dans les Causses du Quercy, l'aquifère principal du Jurassique" donne naissance à un grand nombre de sources (150 répertoriées).

Dans sa partie semi-captive, la localisation des sources est subordonnée à la présence d'accidents qui permettent aux eaux de remonter, au travers des marnes kimméridgiennes. Les sources ainsi formées peuvent alors présenter des débits très importants : c'est le cas de la Fontaine des Chartreux à Cahors. Ce pourrait être également le cas des sources de Touzac-Soturac.

En effet, à l'aplomb de ces sources et de l'émergence du Port de Vire, le sommet de l'aquifère principal du Jurassique se trouverait

à moins de 50 m de profondeur. Les sources de Touzac-Soturac sont localisées au niveau de fractures (cf. schéma structural fig.6 et carte h-t 1) d'orientations parallèles à la faille de Cahors et susceptibles, comme celle-ci, d'être des accidents distensifs (observations de J.G. ASTRUC, T. PELISSIE et J. VOUVE).

Le Lot entaille, plus ou moins profondément, le Kimméridgien supérieur marneux sur lequel il coule depuis l'aval de Cahors. Localement, le toit des calcaires du Kimméridigien inférieur (aquifère principal du Jurassique) peut même apparaître : il a été reconnu, dans la vallée du Lot, au niveau de Luzech et dans le méandre d'Albas. Il est bien évident que, dans ces zones où la rivière coule directement sur les calcaires, des échanges eaux de surface - eaux souterraines sont susceptibles de se produire.

Le Kimméridgien inférieur apparaît, en outre, en affleurements disséminés et de faible extension dans le fond des vallées affluentes du Lot, en rive gauche. On le retrouve enfin, au Sud,dans la vallée de la Rivierette, située à la bordure méridionale du plateau de Floressas-Mauroux-Thézac, au Sud de la zone étudiée.

Dans sa partie captive, sous la molasse du Bassin d'Aquitaine, les assises jurassiques ont été reconnues par des sondages profonds, avec des faciès favorables à l'existence d'un réservoir aquifère.

- Le Portlandien et le Crétacé constituent un aquifère karstique, partiellement entaillé par les vallées , et de ce fait en position perchée.

Cet aquifère est représenté, dans le secteur étudié, au Nord de la rivière Lot ; il est localement (régions de Pomarède et de Sauveterre) recouvert de placages de Sidérolithique sablo-graveleux. Ces dépôts sidérolithiques forment un réservoir aquifère à porosité d'interstices qui joue un rôle régulateur vis-à-vis des écoulements qui transitent, par son intermédiaire, vers le réservoir Portlandien-Crétacé.

- Les formations alluviales constituent, dans la zone étudiée, des aquifères perchés entaillés par le Lot.

4.2. PHENOMENES KARSTIQUES

Les phénomènes karstiques (gouffres, pertes, cavités, émergences) sont largement développés dans toutes les formations calcaires du Jurassique et du Crétacé.

• La karstification qui affecte le Jurassique moyen-supérieur a été largement décrite par ailleurs (cf. J.G. ASTRUC et J.C. SOULE, 1977 notamment). On ne notera donc que les observations faites dans le cadre de cette étude et qui présentent un intérêt direct pour celle-ci :

- Dans le cours même du Lot, notamment à Pradines ou à ses abords (Luzech) des travaux de sondage ont mis en évidence une importante karstification ;

- à 2,5 km à l'Est de Touzac, juste en amont du Port de Vire, on note l'existence d'une exsurgence sous-fluviale, attribuable à un système karstique profond,

- le sondage de recherche d'hydrocarbures de Sauveterre-la-Lémance a accusé une perte totale du fluide de circulation en atteignant, à 150 m de profondeur, le Kimméridgien inférieur.

- une perte est connue, au niveau des affleurements de la Riviérette à 500 m au Nord de Masquières, au lieu-dit Borie-Basse. Le ruisseau alimenté par les écoulements superficiels ou par les sources du Tertiaire, s'y perd de façon diffuse. On note la présence d'une source à 3 kilomètres en aval de cette perte (source de Rajols ou de Franquet). Deux essais de coloration ont été effectués par A. TARISSE. Le colorant n'est pas réapparu à cette source qui n'est donc pas, ou du moins pas de façon constante, en relation hydraulique avec la perte.

• Le Kimméridgien supérieur constitué d'une alternance de calcaires et de marnes, présente des phénomènes karstiques beaucoup moins importants.

On y note :

- des sources de fond de vallée, dont les plus importantes sont situées en bordure du Lot, en rive gauche : Touzac, Bouyssac, Lenclio, Saint-Vincent Rive d'Olt et le Boulvé.

- des sources étagées liées à la présence, à flanc de côteaux, de bancs marneux supportant des assises calcaires.

L'écoulement superficiel n'est généralement pas permanent dans les vallées qui drainent le Kimméridgien supérieur et les cours des ruisseaux issus du recouvrement tertiaire, au Sud, s'y perdent progressivement. La zone de Floressas-Mauroux-Thézac qui occupe une superficie d'environ 115 km², au Sud des sources étudiées, présente des caractéristiques morphologiques particulières qui la différencient des zones marneuses kimméridgiennes situées plus à l'Est. Il s'agit en effet d'un plateau, alors que les zones plus orientales sont disséquées par un réseau hydrographique bien développé. Ce plateau présente de nombreuses dolines bien visibles sur la carte I.G.N. à 1/25.000 ; certaines ont plus de 300 m de diamètre. La plupart de ces dolines sont cultivées. Leurs bords sont arrondis, le rocher n'y affleure pas et il n'y a généralement pas de traces d'écoulement temporaire.

Le réseau hydrographique du Dor qui draîne la bordure orientale de ce plateau est peu développé, les vallées sont souvent sèches et les sources temporaires (ex. source de Cardou : 15 l/s le 7/3/84 et à sec le 17/5/84).

Il résulte de ces observations que le Kimméridgien supérieur doit être considéré comme semi-perméable et susceptible d'alimenter l'aquifère principal sous-jacent.

• Le Portlandien et le Crétacé présentent également des phénomènes karstiques. Le développement de la karstification y est cependant limité par le cloisonnement topographique (nombreuses vallées séparant des "compartiments" allongés).

5 - HYDROLOGIE

Les mesures de débit, effectuées par la DDA dans le cadre de la présente étude, ont concerné, de 1981 à 1983, les sources de Touzac et Soturac, la rivière Lot et la source de Lenclio. Des mesures de débit ont aussi été réalisées sur la source de Bouyssac. Elles ont malheureusement dû être interrompues en cours de cycle hydrologique, le propriétaire de la source considérant les installations comme inesthétiques.

5.1. ETUDE HYDRAULIQUE DES SOURCES DE TOUZAC-SOTURAC

5.1.1.Considérations générales

Avant que la source de Soturac ne prenne naissance vers les années 1948, les écrits anciens nous indiquent que la source de Touzac, appelée encore Fontaine de Leygue, faisait tourner trois moulins placés en série. Les estimations faites au début du siècle attribuaient à cette émergence un débit de :

- 1,9 m^3/s à l'étiage
- 2,0 m^3/s en débit moyen
- 2,1 m^3/s en période de hautes eaux.

Le débit qui s'échappe actuellement de la vasque de Touzac varie de quelques l/s à l'étiage à plusieurs m^3/s en période de fortes crues. Par moyennes et basses eaux, on note la présence d'écoulements annexes, en aval de la vasque. Lors de très basses eaux du Lot, deux sources pérennes déversent leurs écoulements sur les dalles calcaires qui se trouvent découvertes, en bordure rive gauche de la rivière.

De la berge, rive gauche du Lot, on aperçoit sur la rive opposée les importantes venues d'eau bleue de la source de Soturac. Cette source se place dans le prolongement d'une importante fracture, bien visible en rive gauche, qui affecte les calcaires kimméridgiens (substratum de la rivière).

Sur le trajet de cet accident, par très basses eaux du Lot (débit $\leqslant$ 3 m^3/s), un griffon important produit, à la surface des eaux troubles du Lot, une série d'intumescences à l'origine de multiples ondes concentriques.

C'est à la suite des travaux et des expériences de G. de Lavaur, en 1949, que les différents griffons de sortie, placés en bordure du Lot ou dans le lit même de la rivière, ainsi que la source de Soturac ont été rattachés aux écoulements de Touzac (cf. annexe 1). G. de Lavaur proposa, à l'époque, un schéma hydraulique qui plaçait l'alimentation générale du système en rive droite du Lot. Actuellement, certaines observations hydrauliques incitent à penser que l'alimentation principale des sources de TOUZAC-SOTURAC provient de la rive gauche du LOT.

Ces différentes observations suggèrent l'existence de relations hydrauliques complexes entre la source de Touzac, les différentes émergences annexes et la rivière Lot. Le schéma de la fig.8 explicite ces relations hydrauliques telles que l'on peut les appréhender actuellement.

On a effectué un suivi limnigraphique continu à la source de Touzac et sur le Lot, afin de tenter de quantifier ces relations : deux enregistreurs OTT XX ont été installés et calés en cote NGF de façon à pouvoir faire des comparaisons de niveaux.

Toutes les observations et calculs hydrologiques présentés ci-après ont été effectués par A. TARISSE (DDA).

5.1.2. Estimation des débits des sources de Touzac-Soturac

- Exposé du problème

L'examen des variations des niveaux de la source de Touzac et du Lot met en évidence les faits suivants :

- les variations de niveau qui affectent la source et la rivière sont synchrones.

COUPE SCHEMATIQUE INTERPRETATIVE AU NIVEAU DES EMERGENCES KARSTIQUES DE TOUZAC - SOTURAC (LOT).

E W

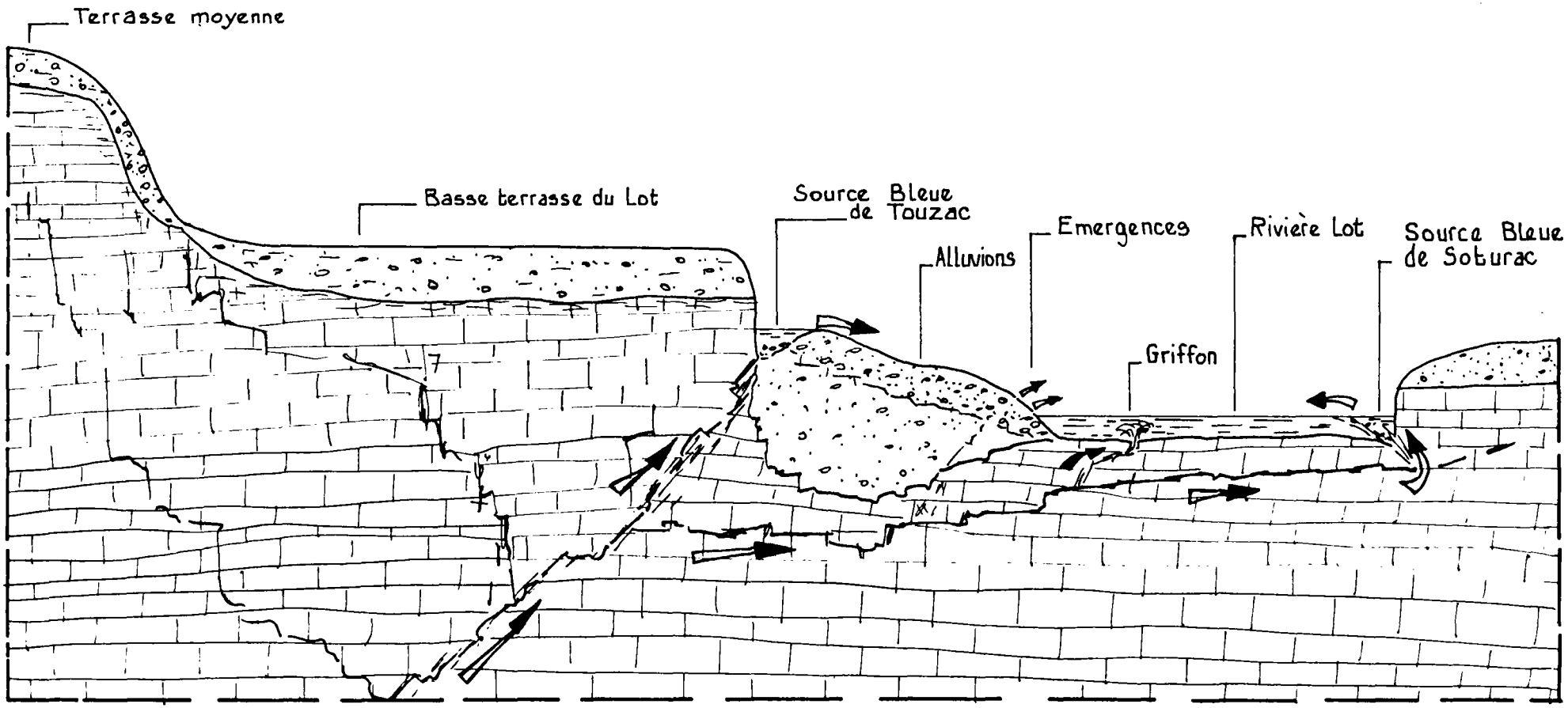


Fig. 8

D.DA. 46_84 168_230_09.11.1984.

- en période d'étiage, ou lors de brusques baisses de débit du Lot, la charge hydraulique qui existe entre la source et la rivière s'élève et peut, temporairement, devenir très importante. Il en résulte une augmentation du débit des sources annexes situées à des cotes topographiques plus basses (débit de sous écoulement de la source de Touzac)

- en période de crue, par contre, le niveau de base (niveau du Lot) s'élevant, les débits de sous-écoulement, en aval de la source de Touzac diminuent.

Ces faits ont été établis par observation des variations de niveau naturelles et par des expérimentations complémentaires, effectuées au cours de l'année 1975 (cf. ci-après).

Il résulte de ces observations que le débit de la source de Touzac et des sources annexes ne peut être appréhendé qu'indirectement :

Il s'agit, en effet, d'un système qui se vidange par des écoulements de "trop plein" dont les eaux rejoignent gravitairement le Lot et par des sous-écoulements qui se déversent directement dans la rivière par l'intermédiaire d'un réseau "noyé".

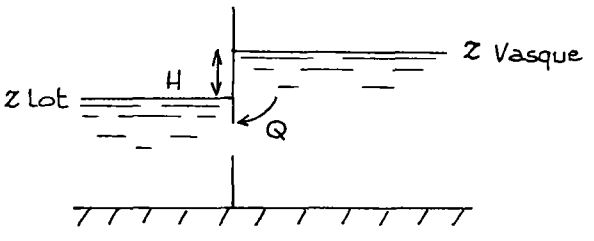
Si les écoulements de trop-plein sont accessibles à des mesures directes - qui ont été réalisées -, l'estimation des sous-écoulements n'a pu être tentée que par un calcul théorique et les résultats ainsi obtenus par A. TARISSE sont donnés ci-après.

Calcul des débits de sous-écoulement

On a admis que le débit Q au travers des conduits noyés (assimilables à des ajutages noyés) varie, en fonction de la différence de niveaux entre la vasque 'Zvasque" et le Lot "ZLot", selon une relation de la forme suivante :

$$Q = K \sqrt{Zvasque - ZLot}$$

avec K = coefficient d'ajutage



On a donc cherché à déterminer expérimentalement le "coefficient d' ajutage" K grâce à des expériences de mise en charge artificielle du système, pour différents états hydrauliques de celui-ci.

Cette mise en charge a été obtenue (cf. schéma fig. 9) en diminuant, grâce à une vanne, les débits de trop-plein de la source de Touzac. Les variations de niveau du Lot et de la source étaient alors enregistrées simultanément et les débits de trop-plein de la source étaient contrôlés pendant toute la durée de l'expérimentation, jusqu'à ce que la stabilisation du plan d'eau de la source soit pratiquement obtenue.

Connaissant la charge (H = Z vasque - Z Lot) et le débit (Q) correspondant pour deux états hydrauliques distincts (H1 et Q1 d'une part et H2 et Q2 d'autre part) on a calculé K à partir de la relation suivante :

$$K = \frac{Q1 - Q2}{\sqrt{H1} - \sqrt{H2}} = \frac{\Delta Q}{\sqrt{H1} - \sqrt{H2}}$$

Quatre expérimentations distinctes ont fourni les résultats suivants

1) niveau initial de la vasque = 68,69 m
niveau initial du Lot = 66,70 m
d'où H1 = 68,69 - 66,70 = 1,99 m
niveau stabilisé de la vasque
après fermeture de la vanne = 68,89 m
d'où H2 = 68,89 - 66,70 = 2,19 m
différence de débit de trop-plein Q1-Q2 = - 0,240 m^3/s

On en tire $K = \frac{Q1 - Q2}{\sqrt{H1} - \sqrt{H2}} = \frac{- 0,240}{\sqrt{1,99} - \sqrt{2,19}} = 3,468$

2) niveau initial de la vasque = 68,72 m
niveau initial du Lot = 66,41 m
d'où H1 = 68,72 - 66,41 = 2,31 m
niveau stabilisé de la vasque
après fermeture de la vanne = 68,90 m
d'où H2 = 68,90 - 66,41 = 2,49 m
différence de débit de trop-plein Q1-Q2 = - 0,21 m^3/s

On en tire $K = \frac{Q1 - Q2}{\sqrt{H1} - \sqrt{H2}} = \frac{-0,21}{\sqrt{2,31} - \sqrt{2,49}} = 3,614$

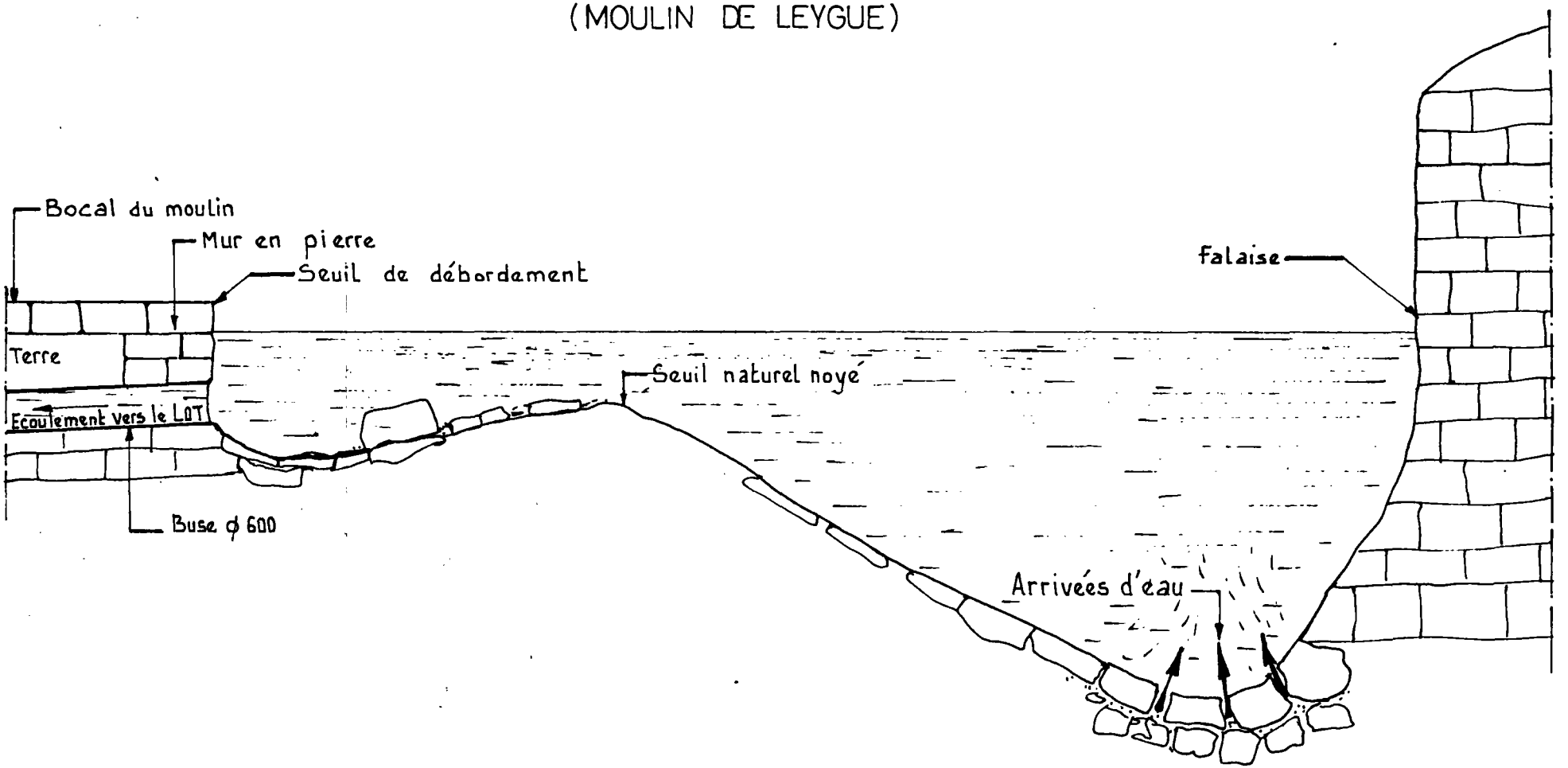
Ouest

Est

SOURCE BLEUE DE TOUZAC

Coupe schématique de la vasque.

(MOULIN DE LEYGUE)



3) niveau initial de la vasque = 69,73 m
niveau initial du Lot = 68,90 m
d'où H1 = 69,73 - 68,90 = 0,83 m
niveau stabilisé de la vasque
après fermeture de la vanne = 70,03 m
d'où H2 = 70,03 - 68,90 = 1,13 m
différence de débit de trop-plein Q1 - Q2 = - 0,197 m³/s

$$\text{On en tire } K = \frac{Q1 - Q2}{\sqrt{H1} - \sqrt{H2}} = \frac{- 0,197}{\sqrt{0,83} - \sqrt{1,13}} = 1,296$$

4) niveau initial de la vasque = 69,94 m
niveau initial du Lot = 67,95 m
d'où H1 = 69,94 - 67,95 = 1,99 m
niveau stabilisé de la vasque
après fermeture de la vanne = 70,20 m
d'où H2 = 70,20 - 67,95 = 2,25 m
différence de débit de trop-plein Q1 - Q2 = - 0,2 m³/s

$$\text{On en tire } K = \frac{Q1 - Q2}{\sqrt{H1} - \sqrt{H2}} = \frac{- 0,2}{\sqrt{1,99} - \sqrt{2,25}} = 2,240$$

Les valeurs de K obtenues ont été reportées sur un graphique (cf. fig. 10) - en fonction des cotes du Lot. On observe que 3 des 4 valeurs calculées de K sont alignées et donc proportionnelles aux cotes du Lot (Zlot).

Si l'on poursuit cette droite, elle coupe l'axe des y en un point correspondant à ZLot = 70,18 m, valeur très voisine de l'altitude NGF du seuil de débordement de la vasque de Touzac (70,25 m NGF).

Il s'agit là d'un résultat expérimental qui a été utilisé en tant que tel : dans l'impossibilité de pouvoir mieux préciser le comportement hydraulique du système, on a admis que, pour les différences de cote les plus fréquemment observées entre le Lot et la vasque, le coefficient K varie linéairement et qu'il est fonction de la cote du Lot.

On aurait donc une relation de la forme.

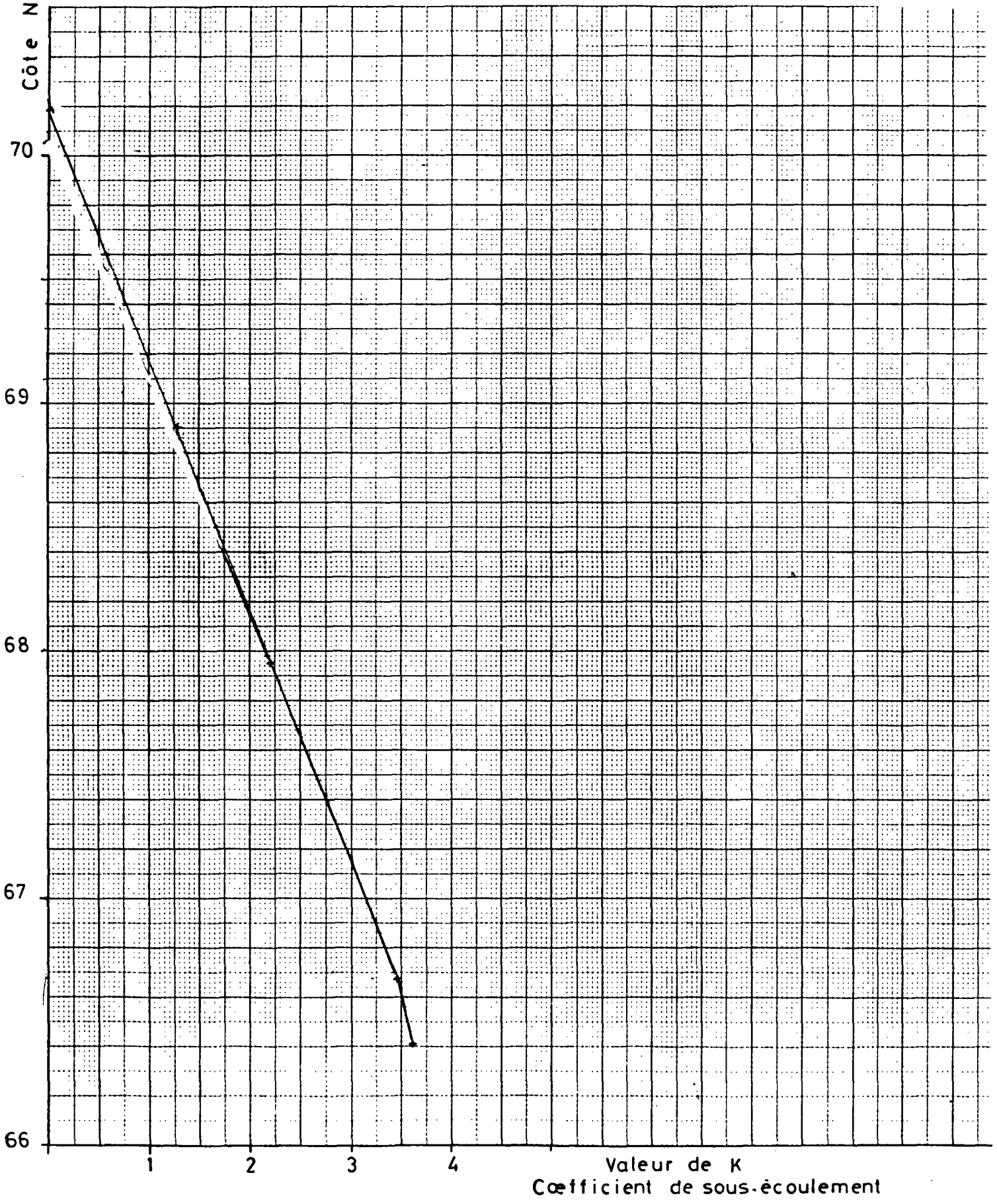
$$K = a - Zlot$$

où a se trouve correspondre expérimentalement à la cote NGF du seuil de débordement de la vasque.

SOURCE DE TOUZAC

Fig. 10

Relation entre le cœfficient de sous-écoulement et la côte N.G.F du LOT



Même si cette relation expérimentale n'est pas totalement satisfaisante sur le plan théorique, elle a été utilisée de façon empirique afin de tenter d'appréhender des écoulements que l'on sait être importants mais que l'on n'a, malheureusement, aucun moyen direct de mesurer.

Les seuls relevés limnigraphiques effectués sur le Lot et sur la vasque ont alors permis de calculer les débits de sous-écoulement en procédant de la façon suivante :

- on a vu que
  $Q = K\sqrt{Zvasque - Zlot}$

- en remplaçant K par sa valeur on a :
  $Q = (a-Zlot)\sqrt{Zvasque - Zlot}$

où la valeur de a est l'altitude NGF du seuil de débordement de la vasque.

Cette démarche a permis à A. Tarisse de constituer, grâce à un programme de calcul automatique, une chronique des débits de sous-écoulement du système karstique de Touzac-Soturac.

- Reconstitution des débits globaux

La chronique de débit global des sources du système de Touzac-Soturac a été obtenue par addition des débits de "trop-plein" mesurés et des débits de sous écoulement calculés.

Elle concerne la période d'octobre 1981 à février 1983, et elle est présentée en annexe (cf. tableau annexe n° 2 et graphique annexe n° 3).

On observera que le débit de sous-écoulement, tel qu'il a été calculé, est beaucoup plus important que le débit de trop plein mesuré. Il présente, en effet, des valeurs deux à cinq fois supérieures à ce dernier. Il est donc particulièrement délicat d'évaluer la marge d'erreur avec laquelle ces débits sont estimés et qui dépend essentiellement de la précision que l'on peut attendre d'une méthode de calcul forcément empirique.

Le débit moyen du système Touzac-Soturac a été, d'octobre 1981 à février 1983, de 2,55 m^3/s ce qui représente un volume d'eau écoulé de $80,4\ 10^6\ m^3/an$.

On remarque que le régime de ce système est très régulier, les débits ne varient, au cours d'un cycle hydrologique, que de 2,1 m^3/s à 3 m^3/s. Ceci correspond à un coefficient de variabilité (1,4) très faible par rapport à ce que l'on observe sur la plupart des exutoires karstiques de la région et qui pourrait s'expliquer par le fait, qu'en période de hautes eaux, le karst est activement drainé par les vallées affluentes du Lot.

5.1.3. Estimation du bassin d'alimentation théorique des sources de Touzac-Soturac

On dispose de trop peu d'éléments et d'une période d'observation trop courte pour pouvoir établir un bilan hydrologique satisfaisant : on ne donnera donc que des ordres de grandeur.

D'après les informations hydro-climatologiques acquises ci-après (cf. chapitre 6) la pluie efficace serait d'environ 290 mm/an soit $290.10^3\ m^3/km^2/an$. Le débit moyen des sources de Touzac-Soturac est de 2,55 m^3/an soit $80,4.10^6\ m^3/an$. Une surface de l'ordre de 280 km^2 est donc nécessaire pour alimenter les sources de Touzac-Soturac. Il s'agit d'une estimation minimale puisqu'elle suppose que toute la pluie efficace s'infiltre ce qui n'est certainement pas le cas puisque des terrains semi-perméables recouvrent le karst proprement dit.

5.2. ETUDE HYDRAULIQUE DE LA SOURCE DE LENCLIO

5.2.1. Considérations générales

Comme la fontaine de Touzac, la source de Lenclio (commune de Mauroux) déverse une partie de ses eaux souterraines directement dans la rivière Lot. Une partie non négligeable du débit, surtout en période d'étiage, échappe donc aux contrôles limnigraphiques.

Cette source est captée pour l'alimentation en eau potable, par le Syndicat des eaux de la Lémance. Les pompages effectués sont généralement assez brefs, ils sont suivis de courtes période de remontée.

La source captée (1) fait partie d'en ensemble comprenant (cf. fig. 11)

- deux émergences principales G1 et G2 distantes de 60 m,
- deux sorties annexes situées sur la berge Sud du Lot,
- une sortie sous-fluviale G3 repérée à 12 m de la berge

Le griffon G2 aménagé au profit du Syndicat de la Lémance est le plu éloigné de la berge du Lot (45 m). Il fait suite à un émissaire de géomètrie complexe révélée par le schéma (B) de la figure 12.

L'eau s'écoule vers la rivière par l'intermédiaire d'un canal calibré.

La seconde source G1 est coiffée par un cuvelage en béton* ; latéralement, des portes mobiles permettent une évacuation aisée des eaux souterraines en particulier en période de crue du système.

Les sorties annexes restent en l'état naturel.

Les expériences de coloration à la fluorescéine faites en septembre 1970 ont montré l'interaction étroite existant entre G1 et G2. Cet état est matérialisé sur le schéma (A) de la figure n° 12.

Les caractères physiques recueillis ont montré également l'identité de l'eau issue des deux griffons.

Les débits naturels de surverse mesurés sur la source captée durant le cycle hydrologique 1970-1971, sont les suivants :

Q maximum = 0,800 m^3/s le 20 Février 1981
Q minimum = 0,025 m^3/s fin Novembre 1971
Q le plus fréquent = 0,350 m^3/s (entre Janvier et Mai 1971)
Q moyen annuel = 0,200 m^3/s

---

(1) La description suivante est issue des données acquises par J. Vouvé, Centre d'Hydrogéologie du Bassin d'Aquitaine.

* Cette construction est à l'origine de sa dénomination "Le Bocal".

Fig. 11

SOURCE DE LENCLIO

Plan de situation

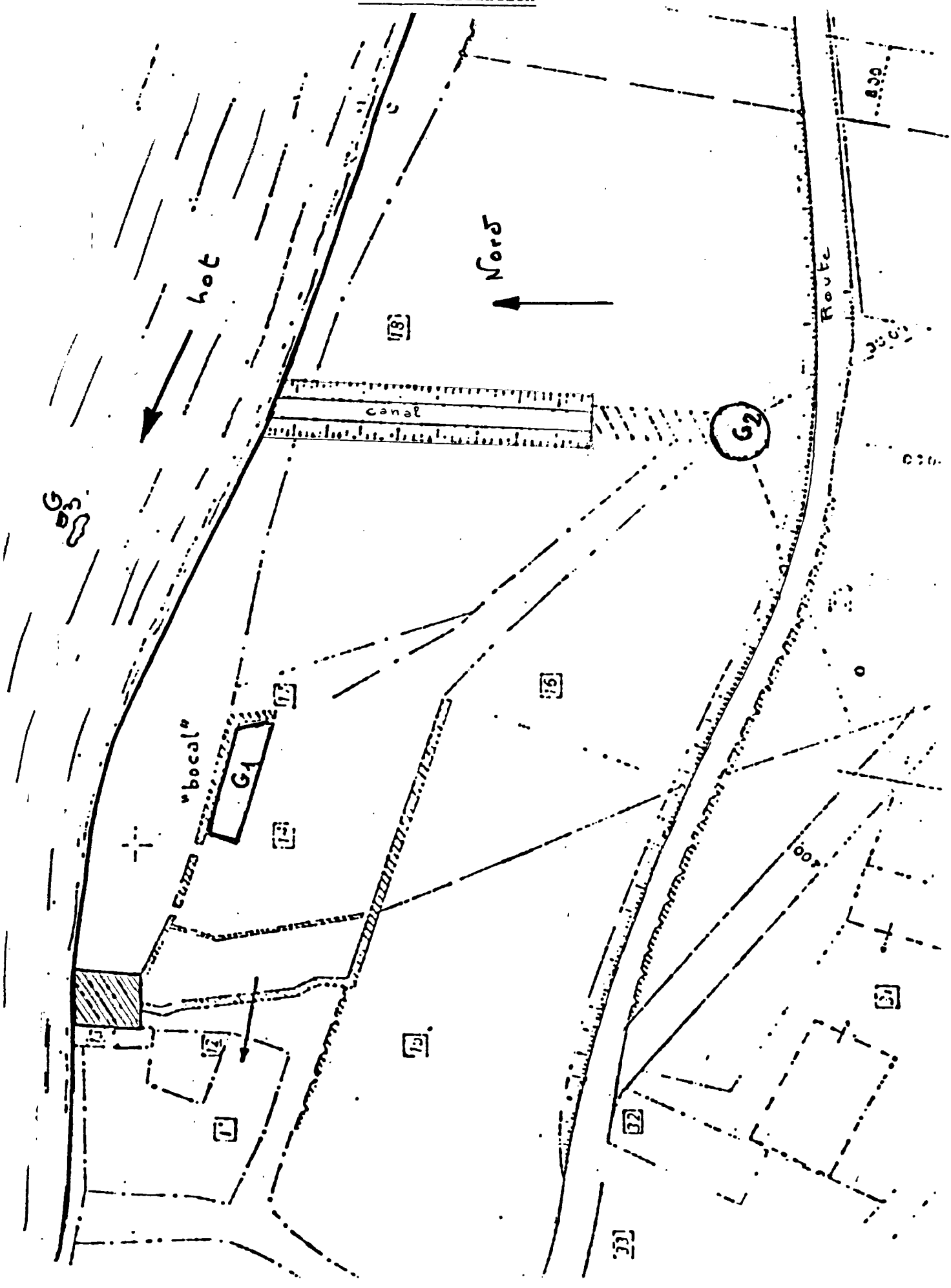
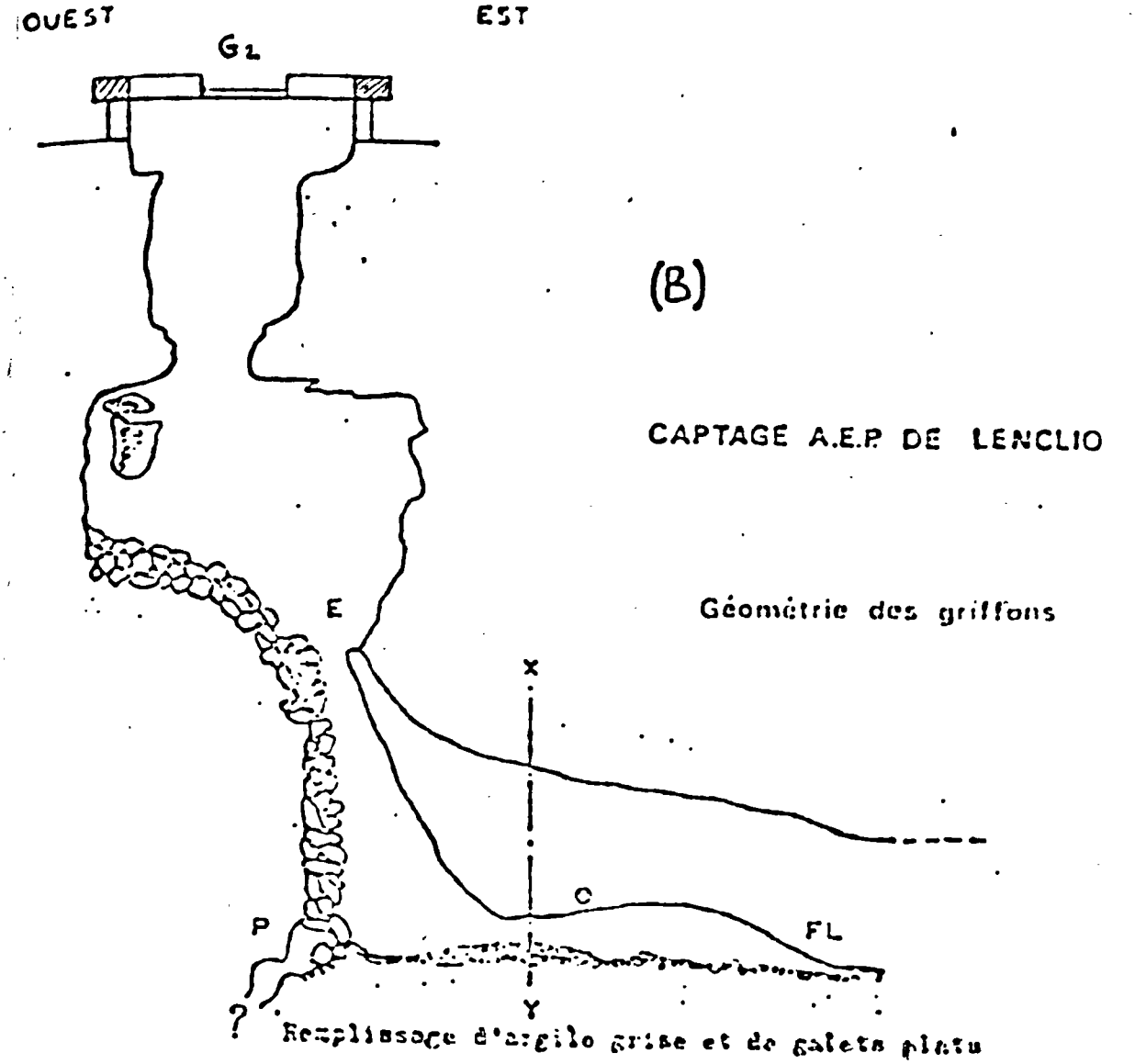
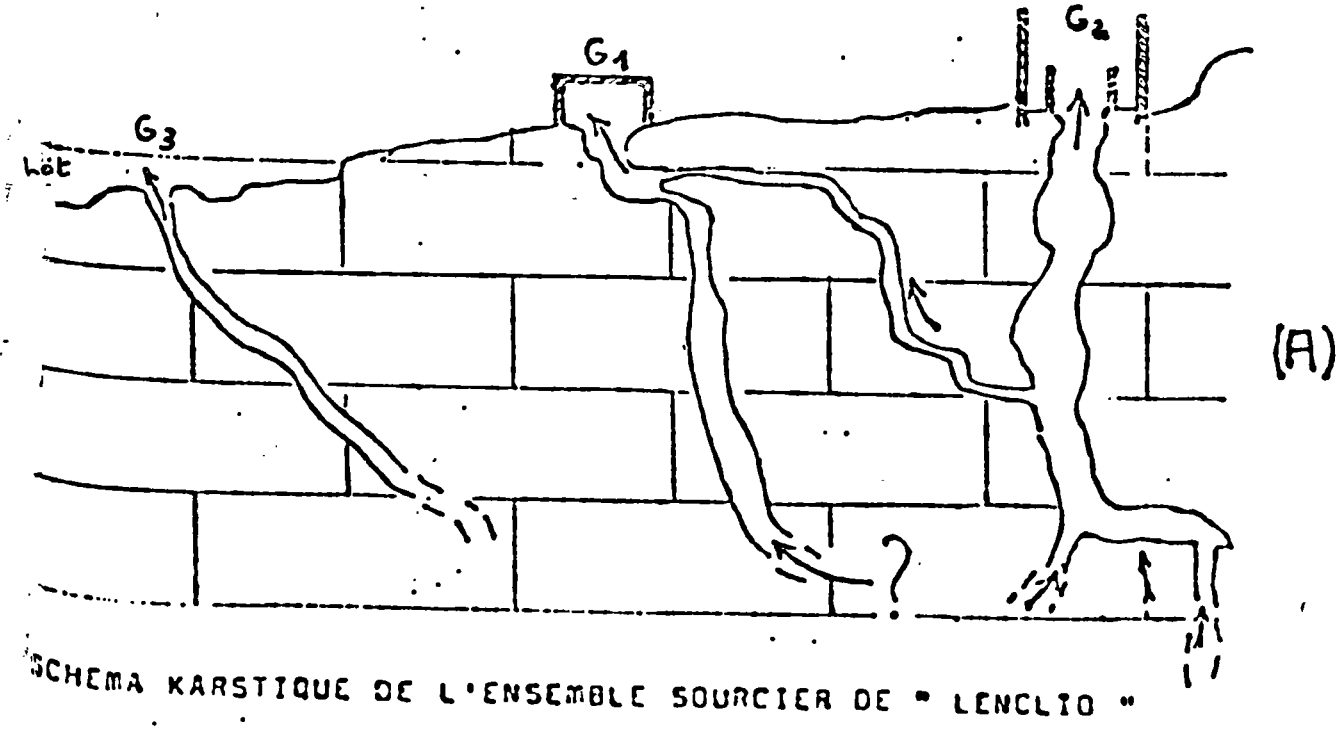


Fig. 12





SCHEMA KARSTIQUE DE L'ENSEMBLE SOURCIER DE " LENCLIO "

J. Vouve (1970)

En fonctionnement normal, les deux pompes installées dans le puits de captage débitent chacune 180 m^3/h.

En période de basses eaux et sans que l'on ait atteint le plus bas de l'étiage, la source débite en trop-plein.

5.2.2. Données hydrométriques antérieures

Les premières études hydrométriques réalisées sur le système karstique de Lenclio ont été effectuées à la demande du Syndicat des Eaux de la Lémance et de la D.D.A. du Lot et Garonne par M. Weyns du Centre d'Hydrogéologie de Bordeaux I, dans le cadre d'une thèse de troisième cycle**.

Les deux émergences principales "Lenclio captage" et Lenclio bocal" ont été équipées de limnigraphes lors des travaux d'aménagement de la source.

Les enregistrements limnigraphiques effectués au cours du cycle hydrologique 1970-1971 n'ont pris en compte que les écoulements par déversement, les écoulements directs dans la rivière n'ont pas été comptabilisés.

L'hydrogramme global établi pour les deux émergences montre un débit de crue de 785 l/s et un débit d'étiage de 25 l/s. (cf. Figure en annexe n° 4).

L'indice de variabilité en 1971 était 785/25 = 32,4.

A titre indicatif, l'indice de variabilité à
GRAUDENE en 1983 était de 1100/20 = 55
aux CHARTREUX en 1983 était de 21000/1200 = 17,5
à CENEVIERES en 1983 était de 7000/80 = 87

5.2.3. Données hydrométriques récentes

Un enregistreur OTT R16 a été mis en place, au printemps 1982, sur le canal de sortie de la vasque de pompage (G2) et une courbe de tarage a été établie.

** Contribution à l'étude hydrogéologique des assises du Crétacé dans le Lot-et-Garonne, 1972, cf. pp. 54 à 57.

Par ailleurs des mesures de débit ont été réalisées sur l'émergence dite "le Bocal" (G1).

Une relation de corrélation a pu être établie entre les mesures en continu réalisées sur le canal (exutoire de G2) et les mesures ponctuelles faites sur le Bocal (G1).

Cette relation a ensuite permis, connaissant les débits qui transitent par le canal, de reconstituer ceux sortent du "bocal".

La somme de ces deux débits permet d'approcher le débit total. Les débits de sous écoulement, dont on sait qu'ils existent (exutoire G3 en particulier) n'ont pas été comptabilisés. En effet, on ne dispose pas, actuellement, d'informations suffisantes pour envisager de pouvoir les calculer.

La chronique des débits du 7 Mai 1982 au 1er Juin 1984 est fournie par le tableau 5, en annexe, et par le graphique correspondant n° 6 également en annexe.

Cette chronique est évidemment influencée par le fait que la source est exploitée par des pompages intermittents à 100 l/s. Ceci rend particulièrement délicate l'interprétation des données hydrométriques d'étiage.

Le débit moyen de Lenclio se situe aux environs de 365 l/s.

Le débit maximum enregistré en 1983 a été de 2810 l/s.

La courbe des débits (cf. annexe 6) témoigne d'un comportement hydrologique proche de celui de la Fontaine des Chartreux à Cahors, dont l'hydrogramme a été présenté à titre de comparaison.

On remarque une réaction rapide de la source aux épisodes pluvieux et, lors des crues importantes, une décrue relativement brève.

Ces observations pourraient, par analogie avec la Fontaine des Chartreux, témoigner d'une karstification assez développée, du moins localement.

5.2.4. Estimation du bassin d'alimentation théorique de la source de Lenclio

On dispose de trop peu d'éléments et d'une période d'observation trop courte pour pouvoir établir un bilan hydrologique satisfaisant ; on ne donnera donc que, des ordres de grandeur.

D'après les informations hydro-climatologiques acquises ci-dessous (cf. Chapitre 6), la pluie efficace serait d'environ 290 mm/an soit 290 10^3 $m^3/km^2/an$.

Le débit moyen de la source de Lenclio est de 0,365 m^3/s soit 11,5 10^6 m^3/an.

Une surface minimale de l'ordre de 40 km^2 est donc nécessaire pour alimenter la source de Lenclio.

Il faut noter qu'il s'agit d'une estimation, par défaut de cette surface d'alimentation puisque les débits de sous-écoulement et d'exploitation ne sont pas comptabilisés.

Par ailleurs ce calcul suppose que toute la pluie dite "efficace" s'infiltre ce qui n'est sans doute pas la réalité puisque des terrains semi-perméables recouvrent le karst proprement dit.

5.3. CONCLUSIONS

L'étude hydraulique des sources de Touzac-Soturac et de la source de Lenclio a mis en évidence les faits suivants :

- les écoulements de Touzac-Soturac se caractérisent par une grande régularité et des débits élevés (en moyenne 2,55 m^3/s) qui correspondent à une surface d'alimentation théorique de 280 km^2, au minimum

- les écoulements de Lenclio sont par contre variables ; la source réagit vite aux épisodes pluvieux et les décrues sont rapides.
  Le débit moyen, d'environ 0,365 m^3/s (par défaut) correspond à une surface d'alimentation théorique de 40 km^2, au minimum.

6 - CLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE REGIONALE

6.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE CLIMATOLOGIQUE

Connaître les modalités d'alimentation du groupe de sources étudié est la condition préalable à toute recherche ultérieure de mesures de protection.

L'étude climatologique et hydrologique régionale sommaire présentée ci-après a donc été réalisée avec l'objectif précis de répondre aux questions suivantes :

-1) la zone d'alimentation définie au Sud des sources étudiées est elle suffisante pour expliquer les débits fournis par ces sources qui sont, rappelons le, de l'ordre de 2,9 m^3/s?

-2) si ce n'est pas le cas, observe-t-on, sur les bassins versants voisins, des anomalies hydrologiques significatives (pertes) qui pourraient bénéficier aux sources étudiées?

-3) enfin, au cas où les réponses aux questions précédentes ne seraient pas satisfaisantes, quelles autres modalités d'alimentation peut-on envisager pour expliquer la totalité des débits observés?

Tout aspect de type monographique a donc délibérement été écarté de ce chapître. Seules les informations susceptibles de fournir des éléments de réponse aux questions posées ci-dessus ont été retenues.

6.2. PERIODE ETUDIEE ET DONNEES UTILISEES

Les mesures et calculs de débit sur les sources de Touzac-Soturac ont porté sur la période du 13/10/81 au 18/02/83.

Pour Lenclio, la période d'observation va du 7/05/82 au 1/06/84.

On a, pour la présente étude climatologique, exploité les données disponibles jusqu'au 31/12/83.

Trois postes pluviométriques encadrant la zone étudiée ont été retenus ; il s'agit de Tournon d'Agenais, au SW ; de Montsempron Libos, au NW et de Puy l'Evêque, au NE. Monsempron Libos et Puy l'Evêque sont situés dans la vallée du Lot, à des altitudes respectives de 110 m et de 120m. Tournon d'Agenais est sur le plateau, à **110 m** d'altitude.

6.3. ESTIMATION DE LA PLUIE EFFICACE

Des calculs de pluie efficace (1) ont été réalisés, pour chacun de ces postes, sur trois cycles hydrologiques, du 1er Septembre 1980 au 31 Août 1983 (cycles 1980-81, 1981-82 et 1982-83) par la formule mensuelle de Turc (programme de calcul automatique B.R.G.M.). La valeur théorique de la Rfu (réserve facilement utilisable) a été fixée à 100 mm.

Les insolations mesurées à Agen ont été utilisées, en l'absence de mesures locales. Les calculs relatifs à Tournon d'Agenais et Montsempron Libos ont été faits à partir des températures d'Agen. Pour Puy l'Evêque, on a pris les températures mesurées à Montcuq Rouillac.

Les valeurs mensuelles des pluies brutes et des pluies efficaces calculées, sont données en annexe, sous forme de tableaux (cf. annexes 7 à 9).

Les valeurs annuelles des pluies efficaces calculées sont les suivantes :

	1980-81	1981-82	1982-83
Montsempron-Libos	222 mm	268 mm	366 mm
Puy l'Evêque	276 mm	309 mm	424 mm
Tournon d'Agenais	185 mm	242 mm	286 mm

(1) pluie efficace : Lame d'eau égale aux précipitations diminuées de l'évapotranspiration ; elle est exprimée en millimètres.

6.4. SITUATION DE LA PERIODE ETUDIEE

Afin de situer ces années hydrologiques (Septembre 1980 à Août 1983) par rapport à des observations de plus longue durée, on a étudié la série des pluies efficaces 1946-1983, calculées à la station d'Agen. La méthode de calcul utilisée par M. LOUVRIER et J. MARGAT -auxquels ces valeurs sont empruntées- est la même que ci-dessus (formule de Turc mensuelle). Toutefois le calcul a été simplifié jusqu'au 31 Août 1979, par utilisation de valeurs moyennes mensuelles de l'insolation et de la température. A partir du 1er Septembre 1979, les auteurs cités ont utilisé les insolations et températures réelles de chaque mois.

Le graphique de la fig. 13 présente, classées par ordre décroissant, les pluies efficaces de 33 années hydrologiques consécutives, du 1er Septembre 1946 au 31 Août 1979. Par souci d'homogénéité, les valeurs postérieures au 31 Août 1979 n'ont pas été intégrées à la construction de cette courbe. Elles y ont seulement été positionnées, à titre indicatif.

On remarquera que, depuis l'automne 1976, les pluies efficaces ont ont toujours été excédentaires. Le cycle hydrologique 1976-1977 présente la valeur maximale, très au-dessus de la courbe de référence. Toutes les années postérieures, jusqu'à fin Août 83 se situent au-dessus de la moyenne.

La présente étude a donc été conduite dans une période excédentaire et les débits observés pendant cette période sont, très certainement, supérieurs à leur valeur normale.

6.5. ALIMENTATION FOURNIE PAR LE PLATEAU SITUE AU SUD DES SOURCES ETUDIEES

On peut considérer, en première hypothèse, que l'alimentation du groupe de sources (Touzac-Soturac, Lenclio et Bouyssac) se fait à partir du plateau situé immédiatement au Sud de celles-ci (plateau de Floressas-Mauroux-Thézac). Ce plateau représente une superficie de 115 km².

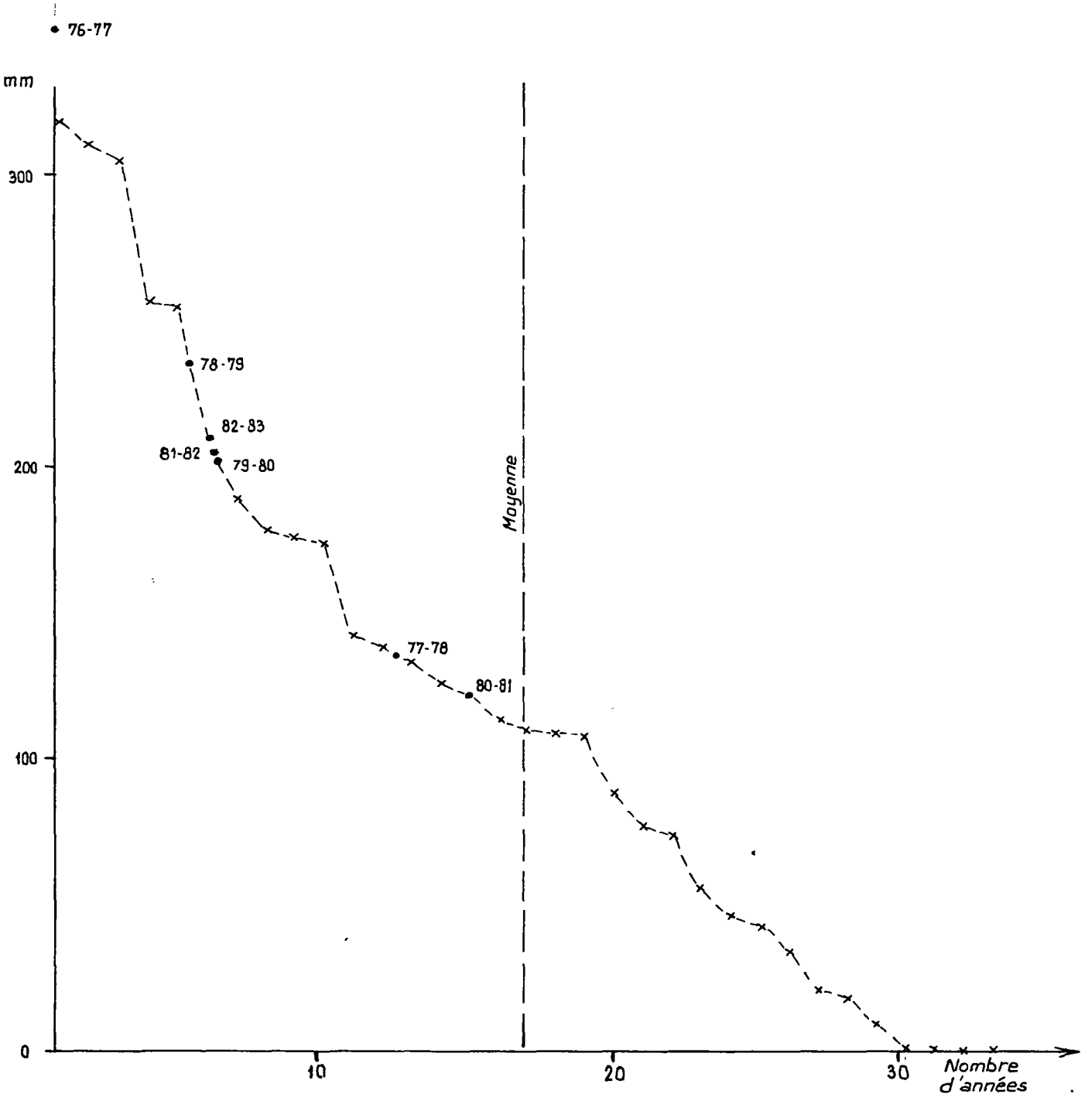
La détermination des polygones de Thiessen permet d'attribuer une aire d'influence de 28 km² à la station de Monsempron-Libos, 48 km² à celle de Puy-l'Evêque et 39 km² à celle de Tournon-d'Agenais.

Fig. 13

AGEN LA GARENNE

Courbe des pluies efficaces annuelles 1946-1979 (années hydrologiques) classées (33 ans).
(calculs effectués avec insolations et températures moyennes mensuelles)

Position indicative des pluies efficaces 1976-1983 (calculs effectués avec insolations et températures réelles).



Ceci conduit, en utilisant les valeurs de pluie efficace calculées pour les trois années hydrologiques 1980-81, 1981-82 et 1982-83, aux estimations suivantes :

Station climatologique	Surface Thiessen	Pluie efficace moyenne sur 3 années hydrologiques	
		en mm/an	en $10^3 m^3/an$
Monsempron-Libos	28 km^2	285	7 980
Puy l'Evêque	48 km^2	336	16 128
Tournon d'Agenais	39 km^2	238	9 282
			33 390 $10^3 m^3/an$

Si la totalité de la pluie efficace s'infiltrait, ce qui n'est vraisemblablement pas le cas puisque le Kimméridgien qui constitue la surface de ce plateau est assez marneux, on aurait un volume infiltré de 33 390.10^3 m^3/an soit 290 mm ou 1,06 m^3/s.

Le débit cumulé observé aux différentes sources est loin d'être atteint. Il faut donc chercher ailleurs un complément d'alimentation.

6.6. ALIMENTATION POSSIBLE PAR LES VALLEES SITUEES AU NORD DE LA ZONE ETUDIEE

La possibilité d'une alimentation en provenance, au Nord, des vallées de la Thèze et de la Lémance a fréquemment été évoquée.

Cette possibilité n'est pas en contradiction avec les diverses données géologiques acquises, notamment avec les données structurales (cf. ci-dessus chapître 3.3).

On a donc cherché à évaluer l'importance de cette alimentation possible, d'après l'analyse des débits mesurés aux stations de Cuzorn sur la Lémance, de Boussac sur la Thèze et de Saint Cybranet sur le Céou. Ces stations contrôlent respectivement des superficies de 234 km² pour Cuzorn, 102 km² pour Boussac et 603 km² pour Saint Cybranet.

Les données relatives à ces stations nous ont été aimablement fournies par les SRAE Aquitaine (Cuzorn et Saint Cybranet) et Midi-Pyrénées (Boussac).

Les lames d'eau, exprimées en mm; observées de septembre 1980 à Août 1983 aux trois stations de jaugeage sont les suivantes :

	1980-81	1981-82	1982-83	moyenne
Boussac (Thèze)	91mm	116mm	185mm	131mm
Cuzorn (Lémance)	174mm	216mm	275mm	222mm
St-Cybranet (Céou)	128mm	110mm	169mm	136mm
Pluies efficaces à Montsempron Libos	222mm	268mm	366mm	285mm

La Lémance présente un module très supérieur à celui des deux bassins versants voisins.

Ces valeurs peuvent être rapprochées des précipitations efficaces calculées pour la station la plus proche c'est-à-dire Montsempron-Libos (cf. dernière ligne du tableau ci-dessus).

- Pour la Lémance, le module d'écoulement sur les trois années, est d'environ 78 % de la pluie efficace. Cette différence n'est pas significative, compte tenu de la marge d'erreur qui affecte l'estimation de la pluie efficace (méthode de calcul; extrapolation à partir du seul poste de Montsempron-Libos).

On peut donc considérer que la Lémance a un comportement hydrologique "normal", correspondant à la surface de son bassin versant.

- Pour le Céou et la Thèze par contre, les modules d'écoulement (sur trois années) représentent respectivement 48 et 46% de la pluie efficace. Ces valeurs sont trop faibles pour pouvoir être expliquées par l'imprécision des calculs. Il faut donc admettre que les stations de jaugeage de St-Cybranet et de Boussac ne mesurent que la moitié environ des écoulements issus de ces bassins versants. Des débits d'environ 0,4 m^3/s pour le bassin versant de la Thèze et de 2,6 m^3/s pour le bassin versant du Céou seraient exportés par l'intermédiaire de circulations souterraines.

Sur le plan hydrogéologique, le bassin de la Lémance est constitué de calcaires crétacés recouverts par les formations "sidérolithiques" qui assurent une bonne régulation des écoulements. Les bassins de la Thèze et du Céou, par contre, ont une fraction importante de leur surface occupée par des calcaires crétacés et jurassiques, karstifiés et souvent dépourvus de recouvrement.

Il ne parait pas raisonnable d'envisager une participation du bassin versant du Céou à des circulations karstiques vers le Sud, ceci pour deux raisons :

- les structures géologiques n'y sont pas favorables
- des résurgences importantes sont connues au Nord, dans la vallée de la Dordogne, et pourraient, semble-t-il, trouver leur origine dans le bassin du Céou.

Par contre, il est vraisemblable que les pertes du bassin de la Thèze alimentent l'aquifère jurassique et donc, plus ou moins directement, le groupe des sources de Touzac-Soturac-Lenclio, pour un complément de débit de l'ordre de 0,4 m^3/s. Cette hypothèse est compatible avec les observations géologiques, et notamment avec la structure profonde de l'aquifère jurassique.

Aucune perte totale n'a cependant été localisée sur la Thèze bien que des reconnaissances de terrain aient été faites dans ce but. Des mesures de débit

ont mis en évidence des pertes diffuses entre Moulin-Mignot et **Boussac.**

Il n'est donc pas possible de préciser les modalités de circulation des eaux dans ce secteur, ni de dire s'il s'agit de pertes ponctuelles ou au contraire, de secteurs entiers du bassin versant qui contribueraient, de façon plus ou moins continue, à l'alimentation de l'aquifère jurassique.

6.7. AUTRES POSSIBILITES D'ALIMENTATION

Les débits fournis par les sources de Touzac-Soturac-Lenclio sont, environ, de 2,9 m^3/s.

On a vu, ci-dessus, que 1 m^3/s environ pouvait être fourni par le plateau de Floressas-Mauroux-Thézac et 0,4 m^3/s environ par le bassin versant de la Thèze.

Les 1,5 m^3/s restants peuvent provenir :

- de l'aquifère profond jurassique
- de la rivière Lot.

Les sources étudiées se situent très près de la limite de captivité de l'aquifère jurassique qui s'ennoie, à l'W, sous les formations tertiaires d'Aquitaine. Cette structure se prête à la localisation d'émergences de "débordement" dont l'alimentation serait tributaire de l'ensemble de l'aquifère jurassique.

Aucune perte n'a été localisée dans la rivière Lot, ni détectée par des jaugeages. Le Lot coule cependant, en plusieurs endroits (Luzech notamment), sur les calcaires jurassiques et on peut envisager qu'il participe directement à l'alimentation de cet aquifère.

Dans tous les cas, que l'alimentation complémentaire se fasse par l'aquifère profond ou par le Lot (ou par les deux), il n'y a aucune difficulté à expliquer le débit des sources.

Les études hydrologiques et climatologiques ne sont pas susceptibles d'apporter des éléments supplémentaires qui permettraient de choisir entre les différentes hypothèses émises.

C'est la raison pour laquelle une étude hydrochimique et hydrothermique, présentée ci-après, a été réalisée dans l'espoir de pouvoir caractériser chaque source et effectuer des comparaisons avec les eaux superficielles et les eaux de l'aquifère jurassique.

7 - GEOCHIMIE

7.1. CARACTERES CHIMIQUES

Un certain nombre d'analyses ont été réalisées par la D.D.A. du Lot sur les sources de Touzac, Bouyssac, Soturac et Lenclio, ainsi que sur le Lot.

Ces analyses sont produites, *in extenso*, dans les tableaux 10 à 14 , en annexe.

Elles ont permis de caractériser chaque exutoire et surtout d'effectuer des comparaisons - dont certaines se sont révélées intéressantes - qui sont présentées ci-après :

7.1.1. Bicarbonates

L'évolution des teneurs en bicarbonates des eaux des sources de Touzac, Soturac, Bouyssac, Lenclio et des eaux du Lot est présentée sur le graphique de la figure 14.

La teneur en bicarbonates est particulièrement élevée pour Lenclio (354 mg/l < HCO_3^- < 392 mg/l), et pour Bouyssac (330 mg/l < HCO_3^- < 372 mg/l)

Touzac et Soturac présentent des teneurs plus faibles (229 mg/l < HCO_3^- < 274,5 mg/l pour Touzac).

Dans les eaux du Lot, la teneur en bicarbonates est encore plus basse et se titue entre 79 et 137 mg/l.

A titre de comparaison on peut signaler que deux analyses effectuées sur la Fontaine des Chartreux à Cahors ont fourni les teneurs en bicarbonates suivantes :

323 mg/l le 12/12/73
241 mg/l le 11/08/76

Ces valeurs ne peuvent être directement comparées aux analyses faites sur Touzac et les sources voisines puisque les dates de prélèvement ne concordent pas.

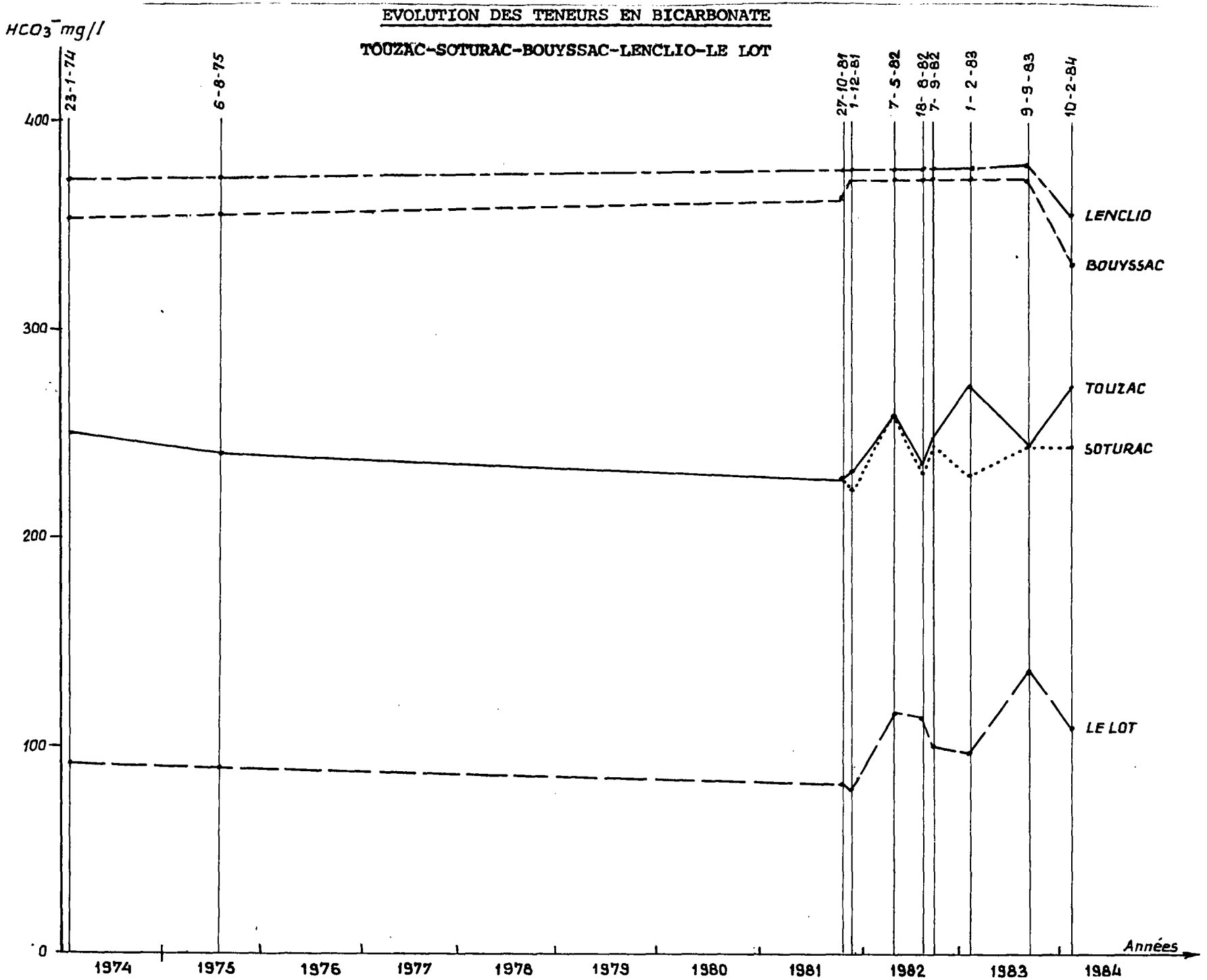

EVOLUTION DES TENEURS EN BICARBONATE
TOUZAC-SOTURAC-BOUYSSAC-LENCLIO-LE LOT
HCO3⁻ mg/l
400
300
200
100
0
23-1-74
6-8-75
27-10-81
1-12-81
7-5-82
18-8-82
7-9-82
1-2-83
9-9-83
10-2-84
LENCLIO
BOUYSSAC
TOUZAC
SOTURAC
LE LOT
Années
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984

Fig. 14

On constate cependant qu'elles se situent entre les teneurs observées à Touzac-Soturac et celles observées à Lenclio-Bouyssac.

On peut signaler, en outre, que les eaux profondes de la source de Gaillardel ont fourni une teneur en HCO_3^- de 317 mg/l (le 1/12/81).

Les eaux de la nappe alluviale présentent des teneurs en HCO_3^- très élevées : 420 mg/l à l'usine hydroélectrique de Touzac.

7.1.2. Nitrates

Le graphique (fig.15) présente l'évolution des teneurs en nitrates des sources de Touzac, Soturac, Bouyssac, Lenclio et du Lot.

Les eaux de la rivière Lot sont peu chargées en nitrates, leur concentration ne dépasse pas 5 mg/l.

Les teneurs en nitrates des eaux de Touzac et de Soturac restent inférieures à 10 mg/l bien qu'une augmentation sensible puisse être observée depuis les premières analyses (1974).

Ces valeurs sont à rapprocher des teneurs très faibles mesurées à la Fontaine des Chartreux (4,4 mg/l le 12.12.73 et 3,5 mg/l le 11.08.76).

Les sources de Lenclio et de Bouyssac sont nettement plus chargées en nitrates. Le 14.02.84 on a observé 22,57 mg/l de NO_3^- à Bouyssac et 23,76 mg/l de NO_3^- à Lenclio.

De plus l'accroissement, au cours des 10 dernières années, des concentrations en nitrates sur les deux sources est importante (7 mg/l en 1974), environ 23 mg/l actuellement).

A titre indicatif, la source de Gaillardel présentait, le 1.12.81 une teneur en nitrates de 9,1 mg/l et les taux de nitrates dans la nappe alluviale, au niveau de l'usine hydroélectrique de Touzac atteignent 39,6 mg/l.

EVOLUTION DES TENEURS EN BICARBONATE

TOUZAC-SOTURAC-BOUYSSAC-LENCLIO-LE LOT

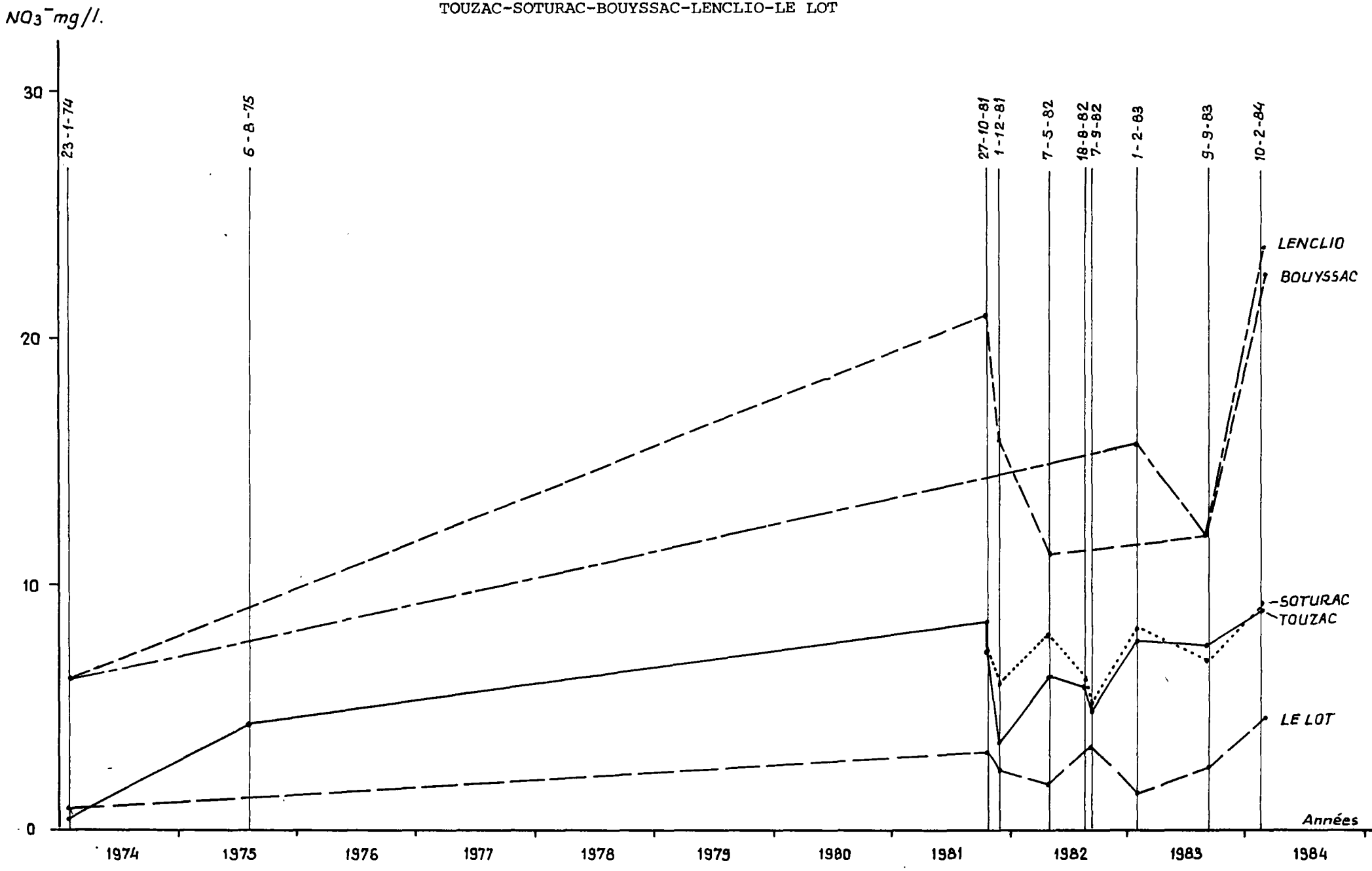


FIG. 15

7.1.3. Sulfates

Les teneurs en sulfates, dans la rivière Lot, varient de 10,5 à 32 mg/l ; elles ont tendance à être plus élevées l'été.

Les valeurs observées à Touzac (9 à 18 mg/l), Soturac (12,8 à 18 mg/l) Bouyssac (9,6 à 24 mg/l) et Lenclio (13 à 24 mg/l) ne font pas apparaître de différences significatives entre ces sources.

Les teneurs à la Fontaine des Chartreux sont comparables (12,0 et 13,0 mg/l).

Les eaux profondes de Gaillardel présentent des teneurs plus faibles (7 mg/l le 1/12/81) et la nappe alluviale des teneurs plus élevées (34 mg/l le 1/12/81).

7.1.4. Chlorures

Les teneurs en chlorures dans la rivière Lot sont faibles : 3,5 à 7,1 mg/l. De même que pour les sulfates, on ne note pas de différence significative entre les différentes sources dont les teneurs en chlorures varient de 6,05 à 12,42 pour Touzac, de 5,9 à 10,65 pour Soturac, de 7,1 à 14,2 pour Bouyssac et de 6 à 14,2 pour Lenclio.

Les teneurs en chlorures à la Fontaine des Chartreux étaient de 6,8 mg/l le 12/12/73 et de 7,1 mg/l le 11/08/76. D'une façon générale, les chlorures semblent être plus abondants lors des crues.

Les eaux profondes de Gaillardel présentent une teneur de 10,6 mg/l et dans la nappe alluviale la concentration est de 17,7 mg/l.

7.1.5. Silice

Les teneurs en silice présentent les valeurs suivantes :

- de 7,46 mg/l à 11,3 mg/l dans le Lot
- de 8,47 mg/l à 18,9 mg/l à Touzac
- 8,47 mg/l et 9,36 mg/l à Soturac
- de 6,57 mg/l à 9,10 mg/l à Bouyssac
- 4,2 mg/l et 9,1 mg/l à Lenclio.

A la Fontaine des Chartreux on a mesuré des teneurs en silice de 10,6 mg/l et 17,7 mg/l.

Ces chiffres ne traduisent pas de différence significative entre les différentes sources et le Lot.

7.1.6. Magnésium et rapport Ca/Mg

Les teneurs en magnésium varient de

- 4,2 mg/l à 7,0 mg/l dans le Lot
- 7,2 mg/l à 8,5 mg/l à Touzac
- 7,2 mg/l à 8,0 mg/l à Soturac
- 6,0 mg/l à 9,2 mg/l à Bouyssac
-10,6 mg/l à14,2 mg/l à Lenclio

On remarque que les teneurs en Mg sont plus élevées à Lenclio qu'aux autres sources. De plus on observe qu'à Lenclio et à Bouyssac les teneurs en Mg ont tendance à s'accroître en période estivale et à baisser lors des crues.

Le rapport Ca/Mg est d'autant plus élevé que le temps de séjour de l'eau est bref. Ce rapport est relativement constant à Touzac (proche de 10). A Lenclio, il varie de 8,23 à 11,13. A Bouyssac, il est nettement plus élevé et varie de 12,82 en étiage à 19,33 en crue.

La rivière Lot présente un rapport Ca/Mg faible (4 à 8,13), et la nappe alluviale un rapport Ca/Mg égal à 8,2.

7.1.7. Oxygène dissous

L'oxygène dissous **est** pratiquement absent dans les nappes profondes. Il peut donc,avec quelques précautions, permettre de préciser l'origine plus ou moins superficielle des eaux. Au moment des crues il peut également permettre de répérer l'arrivée des infiltrations rapides.

A Touzac, le coefficient de saturation O_2 varie de 58 à 59% l'été et de 66 à 68% l'hiver,

à Bouyssac, au cours de l'automne et en hiver 1981 le coefficient de saturation O_2 se situait vers 79-80%,

à Lenclio on notait le 23/1/74 une valeur de 75,7% (le même jour ce coefficient était de 68,6 à Touzac),

à Bouyssac le coefficient de saturation O_2 avoisine 80%.

Dans la rivière Lot, ce coefficient de saturation O_2 est de l'ordre de 100% (99,3% le 01.12.82 et 102,8% le 27.10.81).

7.1.8. Eléments traces

Les éléments traces tels que le zinc, le plomb, l'arsenic ou le cuivre ont été recherchés dans les eaux des différentes sources.

Le plomb, l'arsenic et le cuivre n'ont pas permis d'effectuer de comparaisons significatives, leurs teneurs étant voisines dans toutes les eaux analysées.

Le zinc pouvait, a priori, apparaître comme un "traceur" intéressant : le Lot, depuis son confluent avec le Riou Mort, en véhicule, en permanence, des quantités anormalement élevées et l'on pouvait espérer mettre en évidence une éventuelle relation lot-karst.

En fait, les résultats sont difficilement interprétables : les sources de Touzac (de 0,01 mg/l à 0,055 mg/l) et surtout de Soturac (0,065 mg/l et 0,12 mg/l) présentent des valeurs plus élevées que Bouyssac (0,002 mg/l à 0,023 mg/l) et Lenclio (0,002 mg/l). Les valeurs observées dans le Lot varient de 0,21 mg/l à 1,15 mg/l.

A la Fontaine des Chartreux les teneurs en zinc observées sont de 0,014 mg/l et de 0,046 mg/l. Elles sont donc à rapprocher des teneurs de Touzac.

7.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES : TURBIDITE DES EAUX

Les eaux de Lenclio sont généralement moins turbides que celles de Bouyssac et de Touzac. A Bouyssac, les eaux se troublent fortement lors des crues.

La source de Touzac présente quant à elle, une turbidité générale relativement élevée ce qui est assez paradoxal puisque les débits de la source sont quasi constants. Il pourrait cependant s'agir d'un phénomène local (brassage des sédiments de fond de vasque ou développement d'algues).

7.3. CONCLUSIONS

Il ressort de la description hydrochimique faite ci-dessus que seuls deux paramètres traduisent, par leur évolution, des différences significatives entre les sources étudiées. Il s'agit des bicarbonates (cf. fig. 14) et des nitrates (cf. fig. 15). A ces deux paramètres on peut ajouter les coefficients de saturation en oxygène, plus faibles à Touzac qu'à Bouyssac et à Lenclio et les teneurs en zinc sensiblement plus élevées à Touzac et Soturac qu'à Bouyssac et Lenclio.

On peut donc distinguer nettement deux familles parmi les sources étudiées :

- Bouyssac et Lenclio qui se caractérisent par des teneurs élevées en bicarbonates, relativement importantes en nitrates et une bonne oxygénation. On peut donc penser qu'il s'agit d'exutoires de circulations karstiques assez superficielles. L'accroisssement des teneurs en nitrates observé depuis une dizaine d'années conduit à envisager une pollution locale d'origine agricole dont les conséquences à plus long terme mériteraient dêtre étudiées si l'on veut préserver la qualité des eaux captées.

- Touzac et Soturac qui se caractérisent par des teneurs plus faibles en bicarbonates et en nitrates. L'oxygénation (à Touzac) est moins bonne. Ces constatations font envisager pour ces sources une origine profonde (karst profond ?).

Toutefois les teneurs en zinc, plus élevées qu'à Bouyssac et à Lenclio, obligent à envisager une contamination par les eaux du Lot, sans que cela puisse être confirmé puisque des teneurs en zinc comparables sont observées à la Fontaine des Chartreux.

On a vu (cf. chapître 6) que deux possibilités devaient être envisagées pour expliquer les débits de Touzac-Soturac :

1) il s'agit d'exutoires du karst profond
2) il y a mélange des eaux du karst profond avec les eaux du Lot.

L'une ou l'autre de ces possibilités rendrait compte, de façon assez satisfaisante, des différences chimiques observées entre Touzac-Soturac d'une part et Bouyssac-Lenclio d'autre part.

En effet, on a vu que les teneurs en bicarbonates et en nitrates se situaient pour Touzac-Soturac à des valeurs intermédiaires entre les faibles valeurs du Lot et les fortes valeurs de Lenclio-Bouyssac.

Ceci peut s'expliquer :

- soit par le fait qu'il s'agit d'eaux de karst profond donc naturellement moins chargés en bicarbonates et moins sensibles à la pollution azotée,

- soit par le fait qu'il s'agit , à l'origine, d'eaux comparables à celles de Lenclio-Bouyssac mais qu'il y a mélange avec les eaux du Lot.

Il faudrait alors admettre que les proportions de mélange karst-Lot sont les mêmes pour Touzac et Soturac, et qu'il ne s'agit donc pas d'une contamination locale.

L'influence de celle-ci lorsqu'elle se produit, est d'ailleurs manifeste :

Si l'on examine l'évolution des teneurs en bicarbonates (cf. fig. 14) les teneurs de Touzac et de Soturac différent le 1/2/83 et le 10/2/84, Soturac présentant des valeurs plus faibles. On a pu vérifier que, à ces dates, le Lot était en crue et que les prélèvements ont été effectués alors qu'il y avait mélange dans la vasque de Soturac.

Rien, dans l'analyse hydrochimique, ne permet d'opter avec certitude pour l'un ou l'autre de ces schémas explicatifs et la comparaison avec la source des Chartreux n'apporte pas d'élément déterminant (les teneurs en zinc sont notamment comparables).

8 - REGIME THERMIQUE

D'une façon générale, le régime thermique des sources karstiques est d'autant plus stable que le réservoir aquifère régule bien les influences extérieures.

Celles-ci sont susceptibles de se manifester chaque fois qu'il y a une différence importante entre la température des eaux de surface et celle des eaux souterraines. C'est le cas en hiver (températures extérieures basses et précipitations abondantes susceptibles de refroidir les eaux karstiques), ou, à l'opposé, en été (réchauffement possible des eaux karstiques par infiltration directe d'eaux de surface).

L'étude du régime thermique des sources peut donc apporter des éléments qui, complétant les informations hydrochimiques, aideront à appréhender le degré de karstification et la vulnérabilité des aquifères.

L'annexe 15 présente l'évolution comparée de la température des eaux des sources de Touzac, Lenclio et Bouyssac de Janvier 1983 à Mars 1984. L'annexe 16 présente l'évolution de la température des eaux de la Fontaine des Chartreux d'Août 1975 à Décembre 1976 et de la source de Touzac de Janvier 1983 à Mars 1984. L'annexe 17, enfin, compare l'évolution de la température des eaux des sources de Touzac, de Soturac et de la rivière Lot de Janvier 1983 à Juillet 1984.

L'analyse de ces différents documents permet de constater que :

1) La source de Touzac présente un régime thermique régulier, correspondant à un cycle annuel dont le maximum (15,5°C) se situe vers fin Septembre et le minimum (14,1°C) en fin d'hiver (Février-Mars). On n'observe pas de variations rapides de la température qui pourraient traduire, par exemple, une influence directe des pluies hivernales (baisse de température) ou une influence variable de la rivière Lot en été (hausse de la température).

Ceci laisse supposer que Touzac pourrait être l'exutoire d'un réservoir aquifère relativement important et assurant, de ce fait, une bonne régulation thermique.

De plus la température moyenne de la source de Touzac étant plus élevée que celle des sources voisines, on peut penser que Touzac est alimentée par un réservoir plus profond.

2) L'évolution thermique de la source de Soturac est beaucoup moins régulière. Cette source se situe, en effet, au niveau du Lot ; elle est périodiquement influençée par les eaux de cette rivière qui présentent une forte variabilité thermique.

Les influences du Lot (cf. annexe 17) sont particulièrement évidentes en période hivernale (Janvier-Février 1983, Février 1984) où la température des eaux de la source peuvent descendre jusqu'à 10°5. Elles sont sensibles également en été : 16°7 en Juillet 1983.

Les dates auxquelles les prélèvements pour analyses chimiques ont été effectués sont mentionnées sur l'annexe 17. On a vu ci-dessus (cf. chapître 7) que, lorsque les écarts thermiques entre les sources, de Touzac et de Soturac sont importants, la qualité de leurs eaux diffère sensiblement.

3) La source de Bouyssac présente un régime thermique assez comparable à celui de Touzac. La température des eaux de Bouyssac, qui varie de 13°0 à 14°1 est cependant, en moyenne, inférieure à celle de Touzac (1° de moins environ).

De plus les variations de détail sont plus amplifiées qu'à Touzac et l'influence des pluies hivernales (Février 1983 et Décembre 1984) est plus nette. On peut donc penser que Bouyssac pourrait être alimentée par un aquifère plus superficiel que celui qui alimente Touzac.

4) La source de Lenclio présente un régime thermique encore plus variable, où l'influence des précipitations hivernales est très marquée. La température des eaux de Lenclio varie de 12°9 à 15°0.

La brusque chute de température enregistrée lors des crues hivernales laisse penser que les eaux pluviales froides transitent rapidement dans l'aquifère qui pourrait donc être assez superficiel et bien karstifié.

5) Les eaux de la source de Gaillardel ont une température régulière et élevée : 17° environ. Cette source pourrait donc correspondre à un réservoir karstique profond (170 m de profondeur si l'on admet un gradient géothermique de 3° pour 100 m et une température moyenne au sol de 12°).

6) L'évolution thermique de la Fontaine des Chartreux a été présentée à titre de comparaison, bien qu'elle ne porte pas sur la même période.

Cette évolution est assez comparable à celle de Touzac. On observe cependant, surtout en Octobre-Novembre 1976, une baisse rapide de la température liée aux crues d'automne.

Le réservoir karstique de la Fontaine des Chartreux semble donc se refroidir rapidement dès les premières pluies alors que celui de Touzac assure une meilleure régulation.

En période hivernale, la température des eaux de la Fontaine des Chartreux reste inférieure d'environ 1°C à celle de la source de Touzac. Le réservoir d'alimentation de la Fontaine des Chartreux pourrait donc être plus superficiel que celui de Touzac.

En conclusion, si l'évolution globale du régime thermique des différentes sources étudiées est assez comparable, chaque source présente des caractéristiques particulières qui sont les suivantes :

- Touzac : régime thermique assez régulier, température variant de 14°1 à 15°5
- Soturac : régime thermique influencé par des mélanges périodiques avec les eaux de la rivière Lot

- Bouyssac : régime thermique régulier, influences extérieures légèrement plus sensibles qu'à Touzac, température variant de 13°0 à 14°1.

- Lenclio : régime thermique assez variable - température variant de 12°9 à 15°0

- Gaillardel : température stable et élevée 17°

- Fontaine des Chartreux : régime thermique régulier mais réaction rapide aux pluies hivernales - température variant de 13°5 à 16°2 (sur une période d'observation différente).

9 - EXPERIENCE DE COLORATION

On a vu ci-dessus (cf. 4.2 phénomènes karstiques) qu'un ensemble de pertes a été reconnue au niveau des affleurements de la Riviérette, au Sud du plateau de Floressas-Mauroux-Thezac qui domine le groupe de sources étudiées, en rive gauche du Lot.

La ruisseau de la Riviérette, à écoulement temporaire, se place au contact des calcaires jurassiques (au Nord) et des molasses tertiaires (au Sud). La partie moyenne de son cours principal est installée sur des calcaires d'âge kimméridgien inférieur, fortement diaclasés.

Les écoulements se concentrent au niveau des affleurements tertiaires. De Saux à Tournon d'Agenais, le ruisseau de Riviérette reçoit, en rive gauche et provenant des formations tertiaires, les affluents suivants :

- le Dalou
- le Gaillard
- le Paillargue
- le Michau en aval de la résurgence du Franquet (source de Rajols).

En rive droite, aucun apport d'eau apparent ne provient des diverses vallées sèches, à peine marquées dans le paysage.

En régime de hautes eaux, les écoulements de rive gauche, issus des formations tertiaires, fournissent suffisamment de débit pour permettre un écoulement continu du ruisseau de la Riviérette.

En période de décrue, les affluents tarissent progressivement et seuls de faibles écoulements persistent.

Des mesures de débit ont été réalisés sur le ruisseau de la Riviérette. Elles ont montré que les pertes les plus importantes se situent au contact des terrains imperméables du Tertiaire et des formations brèchiques du Kimméridgien inférieur, près du lieu-dit "Borie-Basse"ou "Pestillat, commune de Sérignac. (cf. plan fig. 16).

FIG. 16 : COLORATION DE LA RIVIÉRETTE Echelle : 1/50 000

Un essai de coloration de cette perte avait été fait en 1983 avec 5 kg de fluoresceïne ; aucun point de restitution apparent n'avait été repéré.

Une nouvelle expérience de coloration a donc été tentée afin d'élucider les relations existant entre la **perte** de Borie-Basse, la résurgence de Franquet située dans la vallée de la Rivierette à 3 km en aval, et les sources de Touzac, Bouyssac et Lenclio.

On a donc décidé d'injecter le colorant (10 kg de fluoresceïne) lorsque les écoulements de surface du ruisseau de la Rivierette n'atteindraient plus, en période de décrue, la ferme de Gaillard située à l'aval immédiat de la zone des pertes.

Le déroulement chronologique des opérations a été le suivant :

a) Injection

Nature du traçeur : Fluorescéïne

1. Lieu : Pont de la Borie-Basse

2. Date : 14 Juin 1984 de 10h30 à 10h35

3. Opérateurs et maître d'oeuvre : DDA du Lot - D. PARDES , A. TARRISSE

4. Quantité de traçeur déversé : 10 kg

5. Débit du cours d'eau au point d'injection : Q≃76 ls/s

6. Débit de la source de Bouyssac : Q≃300 l/s

7. Concentration intiale du traçeur : 438 mg/l

8. Condition climatique et hydrologique : Période de décrue

9. Ecoulement de surface : Perte totale des écoulements de surface 100 m en aval du Pont de "Romondengue".

La vitesse de ces écoulements était de 200 m/h

b) Opérations de surveillance

Elles ont consisté, sur les émergences mises en observation

- Source de Touzac-Soturac
- Source de Bouyssac
- Source de Lenclio
- Source de Franquet (dans le val de la Rivierette à 3 km en aval)

à procéder à des prélèvements d'eau journaliers en vue d'analyses de la fluorescéïne. Les flacons prélevés ont été conservés au réfrigérateur et à l'abri de la lumière. Les analyses ont été aimablement effectuées par le Laboratoire CNRS de Moulis.

A cela s'est ajoutée l'observation visuelle des restitutions d'eau au niveau des vasques.

La restitution du traçeur a été observée visuellement à Bouyssac. Elle a été révélée par dosage à Lenclio.

Aucune réapparition de fluorescéïne n'a été détectée ni à Touzac-Soturac, ni à la source de Franquet.

Le détail des observations de restitution est donné ci-après :

a) Point de restitution : Source de Bouyssac

Date le 17 Juin 1984 vers 15 heures

Conditions hydrologiques : en fin de décrue, eau claire

Coloration bien visible à la vasque sur 40 cm d'épaisseur

Débit estimé : 280 l/s

Distance parcourue 7 200 m ligne droite pour les pertes extrêmes

Temps 76 h 30 pour 7 600 m et pour le point maximal de perte 72 h

Vitesse ligne droite : 99,3 m/h.

Il s'agit donc d'écoulements souterrains relativement rapides ce qui traduit une bonne circulation karstique.

b) Point de restitution : Source de Lenclio

Date le 20 Juin 1984 - Prélèvement 15 h

Conditions hydrologiques : en fin de décrue, début d'étiage

Coloration non visible à la vasque sur une épaisseur de 7 m ; restitutions révélées par dosages

Débit estimé à 190 l/s

Distance parcourue : 7 600 m ligne droite pour les pertes les plus éloignées

Temps du parcours : de l'ordre de 148 h

Vitesse ligne droite : 51,3 m/h

On a affaire ici à un écoulement souterrain, de vitesse moyenne.

Afin de vérifier l'absence de fluorescence résiduelle ou parasite, les eaux de ces 4 sources ont fait l'objet de prélèvements le 6 Juin (soit 8 jours avant la coloration) et le 16 Juillet (soit 30 jours après la coloration). Les dosages ont été aimablement réalisés par le Service d'Application des Radio-éléments du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble. Les résultats, exprimés en 10^{-5} mg/l ont été les suivants :

	TOUZAC	BOUYSSAC	LENCLIO	FRANQUET
6/6/84	28	44	50	67
16/7/84	31	42	45	43

On peut considérer qu'il n'y avait pas , avant la mise en oeuvre de la coloration, de traces résiduelles d'une précédente coloration et que, 1 mois après, la situation était redevenue normale.

Cette expérience de coloration a donc permis de mettre en évidence une relation directe entre les pertes du ruisseau de Riviérette et les sources de Bouyssac et Lenclio.

Il s'agit là d'un résultat particulièrement intéressant puisqu'il confirme la présence de drains préférentiels dans le réservoir d'alimentation de ces sources. Cela avait déjà été envisagé à l'issue des études hydrologique, chimique et thermique.

La source de Lenclio est captée pour l'alimentation en eau potable. Le bassin versant de la Riviérette devra faire l'objet d'une vigilance particulière lorsque les périmètres de protection réglementaires de Lenclio seront mis en place.

Les résultats négatifs obtenus sur Touzac-Soturac et sur la source de Franquet (pas de réapparition du colorant) ne permettent pas de conclure à l'absence permanente de relation entre ces exutoires et la Riviérette.

On peut seulement dire que, dans les conditions hydrauliques dans lesquelles le traçage a été effectué, il n'y avait pas de relation directe et rapide entre Touzac-Soturac, Franquet et le ruisseau de Riviérette.

Mais ceci ne doit pas faire préjuger de relations qui pourraient éventuellement s'établir dans des conditions hydrauliques différentes.

10 - CONCLUSIONS

Un certain nombre d'éléments ont été acquis par les différentes études menées par la DDA : étude hydrologique, étude hydrochimique, étude thermique et traçages, et par le B.R.G.M. : études géologiques et hydrogéologiques.

Tous ces éléments ont été exposés précédemment ; on peut en retenir les conclusions essentielles suivantes :

- Les données de "terrain" ne permettent pas de définir des systèmes aquifères individualisés dont les différentes sources étudiées constitueraient les exutoires.

Les levers géologiques détaillés qui ont été réalisés dans le cadre de cette étude ont permis de préciser, notamment, les caractéristiques et la structure du réservoir karstique (Aalénien à Kimméridgien) :

- Il s'agit, dans le secteur étudié, d'un aquifère semi-captif. Les observations de terrain qui ont été faites ont en effet montré que la couverture kimméridgienne ne constituait pas un toit "étanche".

- Cet aquifère devient captif vers le Nord et vers l'Ouest, la limite de captivité étant située à l'aval immédiat du groupe de sources étudiées.

- Il n'existe, au sein de cet aquifère, aucun cloisonnement suffisamment important pour constituer une limite hydraulique et permettre d'individualiser un système aquifère particulier. Il faut donc admettre qu'il y continuité hydraulique et donc unicité du système aquifère depuis les plateaux du Quercy, *sensu stricto*, à l'Est (partie libre de l'aquifère) jusqu'au karst profond captif au Nord et à l'Ouest, en passant par la zone semi-captive intermédiaire à la limite occidentale de laquelle se situent les sources étudiées.

- Les écoulements souterrains se font, dans l'ensemble, du Sud-Est vers le Nord-Ouest. L'étude structurale qui a été réalisée a mis en évidence l'existence d'une "gouttière", axée sur la vallée du Lot et susceptible de favoriser la concentration des écoulements.

- Enfin, certaines des sources étudiées (Touzac-Soturac) se situent au niveau d'une zone de fractures et présentent, de ce fait, des analogies évidentes avec la source des Chartreux.

Bien qu'appartenant à un système aquifère unique, les différentes sources ne présentent pas les mêmes caractéristiques et ceci implique des différences dans leurs modalités d'alimentation.

Les principales caractéristiques de chacune des sources sont résumées sous forme de tableau cf. page 72.

Touzac et Soturac présentent un débit relativement constant et dont la valeur moyenne est élevée : 2,5 m^3/s. Leurs conditions hydrauliques d'émergence sont régies par la proximité de la rivière Lot.

La source de Touzac a un régime thermique régulier (de 14°1 à 15°5) avec une température moyenne supérieure d'environ 1° à celle des sources voisines. Sa minéralisation est faible : 0,2 à 3 mg/l. Sa teneur en bicarbonates qui varie de 229 à 274 mg/l est moins élevée que celle de Lenclio ou Bouyssac. Elle est faiblement chargée en nitrates (moins de 10 mg/l).

Les eaux de la source de Soturac sont fréquemment mélangées avec celles de la rivière Lot. Lorsqu'il n'y a pas mélange; leurs caractéristiques sont proches de celles de Touzac.

Lenclio présente des débits plus variables qui réagissent bien aux épisodes pluvieux. Sa température variable (12°9 à 15°0) traduit également l'influence rapide des pluies hivernales. Sa minéralisation est importante : 0,3 à 0,4 mg/l. Sa teneur en bicarbonates (354 à 392 mg/l) est plus élevée que celle de Touzac et la pollution azotée y est déjà importante (23,8 mg/l le 14/2/84).

Bouyssac présente des caractéristiques thermiques et chimiques comparables à celles de Lenclio. Son débit est faible et variable (10 à 2000 l/s) et ses eaux assez turbides lors des crues.

La relation directe entre les pertes du ruisseau de la Riviérette et les sources de Lenclio et de Bouyssac a été démontrée par coloration.

De ces différents résultats, on peut conclure que :

- Lenclio et Bouyssac pourraient constituer les exutoires d'une partie relativement superficielle et bien karstifiée de l'aquifère jurassique. Ces sources présentent donc une vulnérabilité importante qui rend nécessaire, pour sauvegarder la qualité des eaux captées, l'instauration de mesures de protection efficaces.

L'augmentation récente de la pollution azotée est particulièrement préoccupante. Si cette évolution se poursuit, elle risque d'interdire, à terme, l'usage des eaux karstiques de Lenclio pour la consommation humaine. Ceci est d'autant plus grave que les solutions locales de substitution (eaux du Lot) ne sont pas satisfaisantes.

- Touzac et Soturac constitueraient les exutoires d'une partie plus profonde de l'aquifère jurassique dont les eaux remonteraient à la faveur de fractures.

Si le mélange des eaux de Soturac avec celles du Lot est évident, il n'en est pas de même pour Touzac. Rien, parmi les différents résultats acquis ne permet de confirmer ou d'infirmer avec certitude l'hypothèse d'un mélange Lot-Touzac et certaines observations telles que la teneur moyenne en bicarbonates ou la faible teneur en nitrates pourraient s'expliquer aussi bien par une origine profonde des eaux que par un mélange avec les eaux superficielles.

Pourtant quelques faits obligent à penser que ce mélange, s'il existe, ne doit pas être très important :

- les conditions locales d'émergence ne se prêtent pas à un mélange direct. S'il y a mélange, les éventuelles pertes du Lot pourraient se produire lorsque celui-ci coule directement sur les calcaires (Luzech, méandre d'Albas) ;

- on n'a pas retrouvé à Touzac, de façon significative, les pollutions caractéristiques du Lot (zinc en particulier)

- l'évolution thermique de la source de Touzac, contrairement à celle de Soturac, ne traduit pas d'influence des eaux superficielles.

COMPARAISON DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES SOURCES DE TOUZAC-SOTURAC-BOUYSSAC LENCLIO et de la FONTAINE DES CHARTREUX

	Débit moyen	Surface d'alimentation théorique	Caractéristiques hydrologiques	Caractères chimiques HCO_3^-	Caractères chimiques NO_3^-	Température	Observations
TOUZAC	2,55 m^3/s	280 km^2	Grande régularité du régime	229 à 274 mg/l	< 10 mg/l	Régime thermique régulier 14°1 < t < 15°5	
SOTURAC				Caractéristiques chimiques et thermiques comparables à celles de Touzac mais épisodiquement influencées par un mélange avec les eaux du Lot			Source mélangée épisodiquement avec le Lot.
BOUYSSAC				330 à 372 mg/l	22,6 mg/l le 14/2/84	Régime régulier influences extérieures sensibles 13°0 < t < 14°1	Relations prouvées par coloration avec le ruisseau de la Rivierette
LENCLIO	> 0,365 m^3/s	> 40 km^2	Débits variables bonne réaction aux épisodes pluvieux et décrues rapides	354 à 392 mg/l	23,8 mg/l le 14/2/84	Régime thermique assez variable 12°9 < t < 15°0	
FONTAINE des CHARTREUX			Etiages bien soutenus - réaction rapide aux épisodes pluvieux			Régime thermique régulier - réaction rapide aux pluies hivernales 13°5 < t < 16°2	

Il en résulte que la source de Touzac, dont on doit considérer qu'elle est, essentiellement, alimentée par le karst profond, subira les influences locales moins directement que Lenclio ou Bouyssac.

Sa protection sera donc liée à la mise en oeuvre de mesures générales aptes à garantir la qualité des eaux qui s'infiltrent pour rejoindre l'aquifère principal du Quercy dans son ensemble.

11 - CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DES AQUIFERES DANS LE SECTEUR DES SOURCES DE TOUZAC-SOTURAC, BOUYSSAC, LENCLIO

A partir des différents éléments réunis au cours de cette étude, et notamment à partir des observations géologiques et hydrogéologiques, on a pu dresser une carte de la vulnérabilité des aquifères dans le secteur des sources de Touzac-Soturac, Bouyssac et Lenclio.

Cette carte est présentée en figure 17.

Les différents terrains y sont représentés en fonction de leur vulnérabilité à la pollution et les sources potentielles de pollution, qui ont pu être identifiées ont été mentionnées.

11.1. DESCRIPTION DE LA VULNERABILITE DES DIFFERENTS TERRAINS

On a distingué :

(1) Des zones très vulnérables constituées par les affleurements des calcaires Bajocien à Kimméridgien inférieur (aquifère principal du Jurassique). Les affleurements sont épars en rive gauche du Lot et apparaissent localement au niveau même de la vallée du Lot (aval de Cahors, méandres de Luzech et d'Albas).

Ils doivent être considérés comme des "regards" directs sur le karst de l'aquifère principal du Jurassique qui peut, par leur intermédiaire, recevoir directement toute pollution.

Les affleurements situés au Sud des sources étudiées dans le bassin versant de la Riviérette sont particulièrement vulnérables puisqu'en liaison directe avec le karst qui alimente Lenclio et Bouyssac (coloration). Les affleurements situés dans la vallée du Lot le sont également dans la mesure où ils sont susceptibles de permettre une infiltration directe des eaux superficielles.

(2) Des zones vulnérables à risques variables

- Ce sont, en premier lieu, toutes les zones où affleurent les marnes et calcaires semi-perméables du Kimméridgien supérieur. (2a)

La zone de Floressas-Maurouc-Thézac, située au Sud des sources étudiées mérite une attention particulière en raison du grand nombre de dolines qui l'affectent et de l'absence d'écoulement superficiel.

- Ce sont, ensuite, tous les affleurements calcaires situés au Nord du Lot. Les calcaires, en position perchée, peuvent assurer de façon assez variable, l'alimentation de l'aquifère jurassique sous-jacent. (2b)

- Ce sont, enfin, les zones alluviales au niveau desquelles se situent très vraisemblablement, quand le substratum est constitué par les calcaires du Kimméridgien inférieur des zones d'infiltration directe vers le karst profond. (2c)

(3) Des zones peu vulnérables

Les zones recouvertes par les formations dites "sidérolithiques" sont beaucoup moins vulnérables, les sables et calcaires marneux assurant une filtration convenable des eaux infiltrées.

Il en est de même pour les zones alluviales dont le substratum est constitué par les formations semi-perméable du Kimméridgien supérieur.

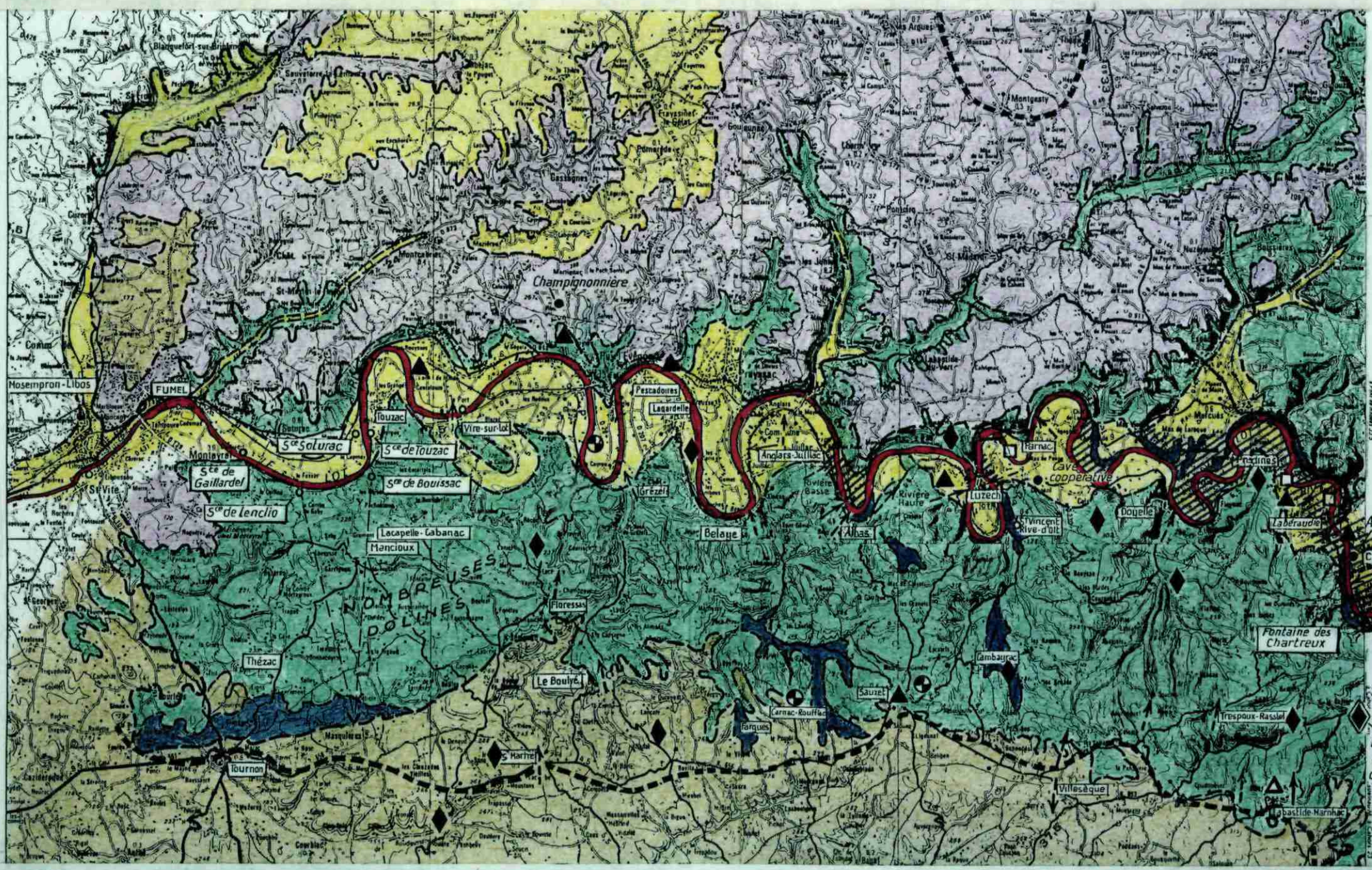
(4) Zones non directement vulnérables

Il s'agit des zones occupées par les formations molassiques peu perméables.

Si ces formations ne sont pas directement vulnérables, une attention particulière doit cependant leur être accordée dans certains secteurs.

C'est le cas pour tout le bassin amont de la Riviérette, qui se développe sur les molasses et dont les eaux de ruissellement concentrées dans ce ruisseau, se perdent à l'aval et rejoignent le karst.

Carte de vulnérabilité des aquifères dans le secteur des sources de Touzac-Soturac-Boussac-Lenclio



1 | 2a | 2b | 2c | 3 | 4

cf légende page 76 et texte

LEGENDE

VULNERABILITE

ZONES TRES VULNERABLES

(1) Affleurements des calcaires de l'Aquifère principal du Jurassique.

ZONES VULNERABLES A RISQUES VARIABLES

(2a) Affleurements du Kimméridgien supérieur

(2b) Affleurements du Portlandien au Crétacé supérieur

(2c) Alluvions dont le substratum est constitué par les calcaires précédents.

ZONES PEU VULNERABLES

(3) Affleurements du "Sidérolithique" et dépôts alluviaux.

ZONES NON DIRECTEMENT VULNERABLES

(4) Affleurements des dépôts molassiques du Tertiaire.

RISQUES DE POLLUTION

♦ Décharge d'ordures ménagères

◈ Usine de traitement des ordures ménagères

——→ Rejets d'eaux usées collectives non traitées

– – → Rejets d'eaux usées individuelles (fosses septiques et rejets directs)

▲ Station d'épuration des eaux usées

△ Station d'épuration des eaux usées en projet

◔ Elevage important en batterie

□ Industries diverses, zones artisanales

• Activités particulières (abattoirs, caves viticoles, champignonnières)

HYDROGEOLOGIE

V Perte

o Source

— — — Circulation souterraine reconnue par traçage

▬ ▬ ▬ Limite de bassin versant

11.2. INVENTAIRE DES SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION

- Le Lot a été, sur toute la partie de son cours entre Cahors et les sources étudiées, considéré comme une source potentielle de pollution importante.Des échanges Lot-karst profond sont en effet possibles,notamment dans les secteurs où le Lot coule directement sur les affleurements calcaires.

- Une enquête sur les risques de pollution a été faite, en rive gauche du Lot, elle a concerné les affleurements du Kimméridgien supérieur entre le méridien de Cahors et celui de Floressas ainsi que le bassin versant de la Riviérette.

Pour les 22 communes intéressées, cet inventaire a porté sur :

- les ordures ménagères
- l'assainissement
- les activités industrielles et agricoles importantes.

En rive droite du Lot et dans la plaine alluviale on a mentionné les principaux points éventuels de pollution.

Toutes ces informations ont été reportées sur la carte de la figure 17.

• Ordures ménagères (cf. tableau fig. 18)

. Treize communes adhèrent au Syndicat Intercantonal de collecte et de traitement des ordures ménagères de la basse vallée du Lot qui dispose sur le territoire de la commune de Lagardelle d'une décharge contrôlée implantée dans les ballastières intéressant les alluvions anciennes du Lot.

. La ville de CAHORS traite par broyage ses ordures ménagères ainsi que celles de la commune de PRADINES. Les résidus de traitement sont déposés aux abords immédiats de l'usine de traitement.

. Les communes du BOULVE , de FLORESSAS, SAINT MATRE ET SAUX disposent chacune de leur propre décharge.

. Seules les communes de FARGUES et SAUZET ne possèdent pas de dépôt.

. La situation en ce qui concerne le traitement des ordures ménagères à quelques exceptions près est donc en voie d'amélioration. Le dépôt d'ordures broyées de CAHORS paraît le plus préoccupant ainsi que les anciennes décharges communales (CAMBEYRAC, CAHORS, DOUELLE, LUZECH, PARNAC et PRADINES) qui devraient n'être utilisées que pour des déchets inertes.

- Assainissement (cf. tableau fig. 19)

Sur les 23 communes comprises dans les zones étudiées, seules celles de CAHORS, PRADINES et SAUZET disposent pour les agglomérations d'une station complète de traitement des eaux usées.

Les communes de LAGARDELLE et de PESCADOIRES sont dotées d'un réseau de collecte des eaux usées (système séparatif) raccordé par l'intermédiaire de postes de relèvement, à la station de traitement des eaux usées de PRAYSSAC (en rive droite du Lot).

Sur la commune de LUZECH, seul un lotissement récent est équipé d'un réseau de collecte et d'une installation de traitement des eaux usées.

. Pour les autres communes l'assainissement individuel est général. Celles d'ALBAS, ANGLARS-JUILLAC, LABASTIDE-MARNHAC et ST-VINCENT-RIVE-d'OLT ont équipé partiellement les bourgs d'un réseau séparatif avec rejet sans traitement des effluents dans l'attente de la réalisation des stations de traitement correspondantes (réalisation imminente pour LABASTIDE-MARNHAC).

. Les caractéristiques des stations existantes de traitement sont les suivantes :

CAHORS : prévue pour 33500 eq. habitants (72270 m^3/j) cette station traite la majeure partie des eaux usées de l'agglomération, les effluents étant rejetés dans le Lot (rive droite).

LUZECH : seules les eaux usées du lotissement VISSENS en rive gauche sont traitées dans une station prévue pour 150 habitants (22,5 m^3/j) avec déversement des effluents dans un fossé en direction du Lot.

PRADINES : La station prévue pour 3000 éq. habitants (450 m^3/j) dessert les bourgs de PRADINES, LABERAUDIE et la Z.A.C. des ESCALES (Cahors), les effluents étant rejetés dans le Lot après traitement complémentaire dans une lagune.

Le fonctionnement de cette station est perturbé en période pluvieuse par des venues d'eau parasites.

SAUZET : La station prévue pour 250 éq. habitants (37,5 m^3/j) traite les eaux usées du bourg, les effluents étant déversés dans un fossé, en direction du Lissourgues, où ils s'infiltrent. Le fonctionnement de cette station est également perturbé par des arrivées parasites d'eau en période pluvieuse notamment.

. En plus des précédentes stations de traitement on relève en rive droite du Lot, celles de DURAVEL, PUY-L'EVEQUE et PRAYSSAC ; cette dernière dessert également l'agglomération de LAGARDELLE et de PESCADOIRES.

. La situation en ce qui concerne le traitement des eaux domestiques usées en communes rurales est donc médiocre.

● Industries.

. Les seules activités industrielles de type tertiaire, sont localisées aux abords de CAHORS de part et d'autre de la route nationale n° 20 et dans la zone d'Englandières en bordure même du Lot. On y note des entrepôts (T.P. ... des fabriques de matériel divers (cablage électrique ...), une imprimerie et des industries agro-alimentaires (boulangerie, laiterie, charcuterie...).

● Agriculture.

. L'activité agricole généralement diversifiée est prépondérante, la zone vinicole de CAHORS étant localisée sur les bords du Lot avec notamment la cave coopérative de PARNAC.

En ce qui concerne l'élevage, les installations les plus importantes sont celles de SAUZET et CARNAC-ROUFFIAC.

TRAITEMENT DES ORDURES MENAGERES

COMMUNE	
ALBAS	Syndicat Intercantonal de collecte et traitement des ordures ménagères de la Basse Vallée du Lot (B.V.L.)
ANGLARS-JUILLAC	" " " "
BALAYE	" " " "
le BOULVE	Dépôt communal
CAHORS	Usine de broyage et dépôt
CAMBEYRAC	Dépôt (inertes ...) et S.B.V.L.
CARNAC-ROUFFIAC	Syndicat B.V.L.
DOUELLE	Dépôt (inertes...) et S.B.V.L.
FARGUES	pas de dépôt ni ramassage
FLORESSAS	Dépôt communal
GREZELS	Syndicat B.V.L.
LABASTIDE-MARNHAC	Ancien dépôt de Cahors (cf. Trespoux-Passiels)
LAGARDELLE	Dépôt du Syndicat B.V.L.
LUZECH	Dépôt (inertes...) et Syndicat B.V.L.
PARNAC	Dépôt (inertes...) et Syndicat B.V.L.
PESCADOIRES	Syndicat B.V.L.
PRADINES	Dépôt communal et usine de broyage de Cahors
SAINT MATRE	Dépôt communal
ST VINCENT RIVE D'OLT	Syndicat B.V.L.
SAUZET	pas de dépôt, ni ramassage
TRESPOUX-PASSIELS	Ancien dépôt de Cahors (cf. Labastide-Marnhac)
VILLESEQUE	Syndicat B.V.L.
SAUX	Dépôt communal.

ASSAINISSEMENT

COMMUNE	
ALBAS	Réseau partiel de collecte dans l'agglomération et rejet sans traitement (projet de raccordement à station intercommunale (avec les communes de ANGLARS-JUILLAC et BELAYE).
ANGLARS-JUILLAC	Réseau partiel séparatif de collecte dans l'agglomération et rejet sans traitement (projet de raccordement à station intercommunale (avec ALBAS et BELAYE)
BELAYE	Rejets individuels - Projet d'assainissement (cf. ci-dessus)
LE BOULVE	Rejets individuels
CAHORS	Station de 33500 éq. habitants. Rejets locaux sans traitement
CAMBEYRAC	Rejets individuels
CARNAC-ROUFFIAC	Rejets individuels
DOUELLE	" "
FARGUES	" "
FLORESSAS	" "
GREZELS	" " - Projet d'assainissement
LABASTIDE-MARNHAC	Réseau séparatif de collecte des eaux usées de l'agglomération et rejets sans traitement (station en projet)
LAGARDELLE	Réseau de collecte et traitement à la station de Prayssac
LUZECH	Station de 150 éq. habitants pour un lotissement. Rejets individuels ailleurs, projet d'assainissement intercommunal (avec PARNAC et ST VINCENT RIVE D'OLT)
PARNAC	Rejets individuels (projet d'assainissement)
PESCADOIRES	Réseau de collecte et traitement à la station de Prayssac
PRADINES	Station de 3000 éq. habitants et rejets individuels
SAINT MATRE	Rejets individuels
ST VINCENT RIVE D'OLT	Réseau séparatif de collecte de l'agglomération et rejet sans traitement - Projet de station intercommunale (LUZECH PARNAC)
SAUZET	Station de 250 éq. habitants
TRESPOUX-PASSIELS	Rejets individuels
VILLESEQUE	" "

12 - CONCLUSIONS GENERALES

L'étude des sources de TOUZAC-SOTURAC-BOUYSSAC-LENCLIO, présentée ci-dessus, a permis de préciser leurs modalités d'alimentation.

On a pu en conclure que :

- TOUZAC et SOTURAC constitueraient les exutoires d'une partie profonde de l'aquifère jurassique dont les eaux remonteraient à la faveur de fractures. Le mélange des eaux de SOTURAC avec celles du LOT est fréquent. Pour TOUZAC, ce mélange n'a pas pu être démontré et tout laisse à penser que, s'il existe, il ne doit pas être très important.

- LENCLIO et BOUYSSAC pourraient constituer les exutoires d'une partie relativement superficielle et bien karstifiée de l'aquifère jurassique.

Il en résulte que la protection de ces sources doit être abordée de façon différente :

- LENCLIO et BOUYSSAC sont très sensibles aux influences locales et donc particulièrement vulnérables. Elles sont, de plus, en liaison directe avec des réseaux de drainage superficiel (pertes reconnues et traçages).

Cette vulnérabilité se traduit, notamment, par l'augmentation régulière des teneurs de leurs eaux en nitrates.

- TOUZAC et SOTURAC subissent moins directement les influences locales et leur protection relève essentiellement de la mise en oeuvre de mesures générales aptes à garantir la qualité des eaux qui s'infiltrent dans l'aquifère principal du QuercY.

Une carte de vulnérabilité des aquifères du secteur étudié a été élaborée ; elle permet de distinguer notamment les terrains selon leur vulnérabilité potentielle à la pollution, ainsi que les sources potentielles de pollution, le rapprochement de ces deux types d'informations devant permettre de protéger au mieux les importantes ressources en eau potable que représentent les aquifères karstiques pour le département du Lot.

Annexe 1 - Description de la Fontaine Bleue de Touzac par G. de Lavaur.

Sur la rive gauche du Lot, à quelques mètres au-dessus de celui-ci, se trouve une résurgence vauclusienne nommée Fontaine Bleue dont le puissant débit faisait marcher trois importants moulins disposés en série. Il y a quelques années, des ouvriers jetèrent des charges d'explosif dans le lac pour prendre du poisson. Aussitôt le débit diminua très vite pour finir par devenir imperceptible.

Simultanément, une petite résurgence, située à quelques mètres sous l'eau sur la rive droite du Lot, se transforma en un émissaire tellement puissant que, peu de temps après, elle avait édifié une sorte de vasque, séparée de la rivière par un rempart de sables et de graviers charriés par la violence du courant.

Appelé par le propriétaire de Fontaine Bleue pour étudier ce phénomène, je constatai, au cours d'une rapide plongée, que l'aqueduc d'arrivée avait été complètement obstrué par l'effondrement d'un large surplomb rocheux, provoqué sans aucun doute par les explosions.

L'amoncellement de pierres et de blocs qui résultait de cet effondrement couvrant une surface assez grande, il était impossible de percevoir le moindre courant, mais l'attitude des poissons semblait indiquer qu'il y avait encore une certaine alimentation de la fontaine au travers de ces décombres.

Pour en avoir confirmation, je versai au ras des blocs une très faible dose de fluorescéine et pus constater un déplacement appréciable du colorant établissant que, si l'alimentation était très réduite, elle subsistait cependant.

Au contraire, de l'autre côté du Lot, je trouvai au fond de la vasque nouvellement édifiée un orifice d'environ quatre à cinq décimètres carrés de section. Bien que ceci se passât en période de forte sécheresse, il sortait de cet ajutage un courant d'une telle violence qu'il projetait, loin en avant, du sable et des gravillons et que les poissons, qui fuyaient devant moi, ne pouvaient pénétrer dans cet abri.

Je regagnai la rive opposée en suivant le fond du lit de la

rivière. Il était constitué de grandes dalles calcaires parsemées de galets. Je vis tout à coup un spectacle des plus étonnants : à quelques mètres devant moi, un galet, de la taille d'une grosse orange, dansait dans les eaux immobiles du Lot (1). Fortement intrigué par ce phénomène, je m'approchai et je m'aperçus que, d'une fissure, sortait verticalement un fort courant froid sur lequel le galet se tenait en équilibre comme les œufs que l'on voit dans les stands de tir forains monter et descendre au sommet d'un jet d'eau.

Je repérai tout alentour un certain nombre de griffons de ce genre, mais moins importants, échelonnés entre la rive gauche et le milieu de la rivière.

Je ne doutai pas que ces griffons ne fussent en relation avec une des deux résurgences. Comme l'expérience relatée plus haut m'avait appris que Fontaine Bleue était toujours partiellement alimentée alors que son déversoir était à sec, je pensai que ces griffons, ainsi que plusieurs sourcettes en bordure du Lot, devaient provenir de fuites de la vasque. Une nouvelle coloration, plus importante, confirma que deux sur trois des sourcettes et tous les griffons provenaient de Fontaine Bleue.

Ainsi, un ruisseau souterrain passe sous le Lot, alimente à plusieurs mètres plus haut une résurgence qui se déverse elle-même souterrainement en partie dans les eaux de la rivière.

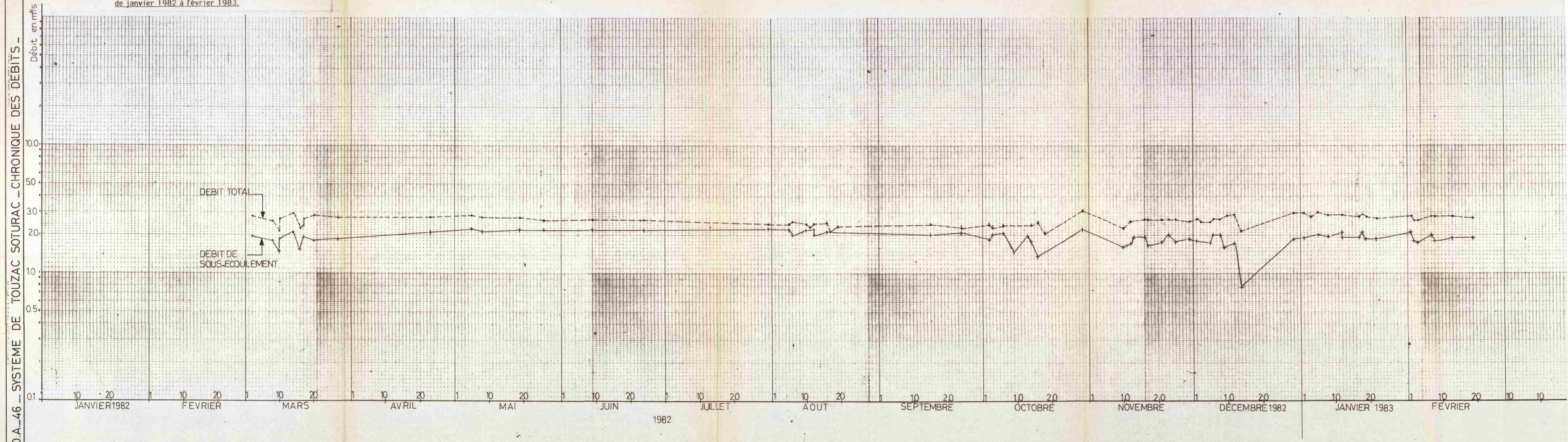
Extrait de G. de LAVAUR : Initiation à l'exploration souterraine. AMIOT-DURAND - Paris 1954.

Annexe 2 - Débits globaux des sources de Touzac-Soturac (débits de sous écoulement calculés, débits de trop-plein mesurés).

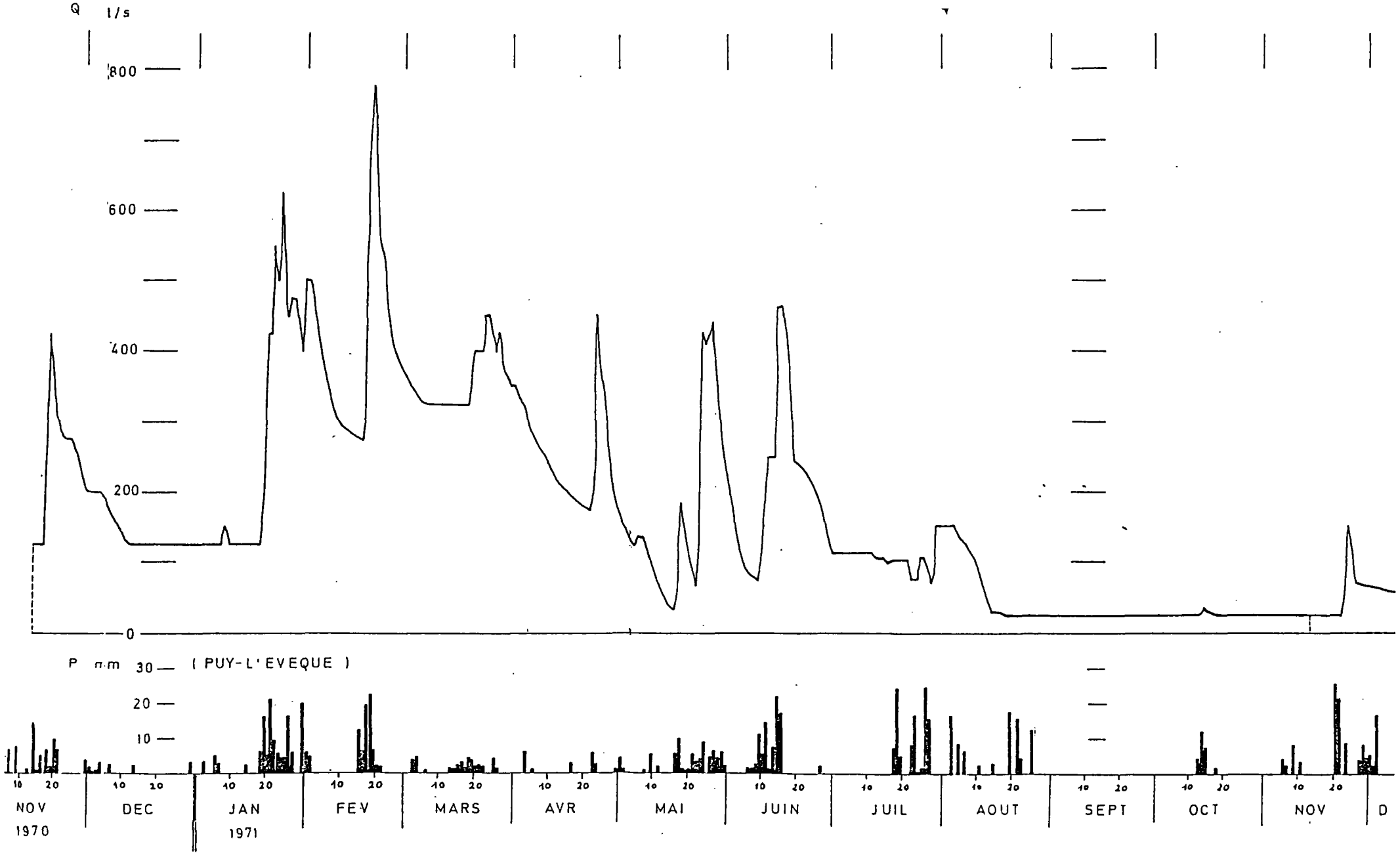
DATES	DEBIT DE SOUS-ECOULEMENT	DEBIT DE TROP-PLEIN	DEBIT TOTAL
13.10.81	2,074 m3/s	0,447 m3/s	2,521 m3/s
14.10.81	1,928	0,518	2,446
15.10.81	1,865	0,559	2,424
17.10.81	1,670	0,564	2,234
20.10.81	1,989	0,499	2,488
20.10.81	1,826	0,570	2,396
23.10.81	1,871	0,564	2,435
26.10.81	2,025	0,539	2,564
27.10.81	2,007	0,612	2,619
30.10.81	2,043	0,530	2,573
01.11.81	1,811	0,617	2,428
03.11.81	2,050	0,527	2,577
03.11.81	1,796	0,622	2,418
06.11.81	1,750	0,656	2,406
10.11.81	2,151	0,474	2,625
10.11.81	1,776	0,622	2,398
13.11.81	2,061	0,512	2,573
13.11.81	1,770	0,622	2,392
16.11.81	2,069	0,433	2,502
18.11.81	1,974	0,536	2,510
21.11.81	1,900	0,530	2,430
24.11.81	2,202	0,262	2,464
24.11.81	1,998	0,494	2,492
28.11.81	2,096	0,467	2,563
28.11.81	1,904	0,536	2,440
01.12.81	2,130	0,425	2,555
02.12.81	1,885	0,542	2,427
06.12.81	1,970	0,530	2,500
07.12.81	2,134	0,440	2,574
08.12.81	2,095	0,474	2,569
09.12.81	1,786	0,617	2,403
15.12.81	0,799	1,572	2,371
01.03.82	1,973	0,804	2,777
07.03.82	1,811	0,758	2,569
09.03.82	1,503	0,675	2,178
09.03.82	1,919	0,766	2,685
13.03.82	2,117	0,843	2,960
15.03.82	1,574	0,684	2,258
16.03.82	1,636	0,689	2,325
16.03.82	1,956	0,741	2,697
19.03.82	1,841	0,961	2,802
28.03.82	1,875	0,900	2,775
22.04.82	2,104	0,612	2,716
04.05.82	2,226	0,575	2,201
07.05.82	2,151	0,622	2,773
18.05.82	2,239	0,524	2,763
25.05.82	2,177	0,506	2,683
08.06.82	2,202	0,461	2,663
23.06.82	2,197	0,410	2,607
22.07.82	2,160	0,285	2,445
04.08.82	2,193	0,285	2,478
05.08.82	2,034	0,493	2,527

DATES	DEBIT DE SOUS-ECOULEMENT	DEBIT DE TROP-PLEIN	DEBIT TOTAL
08.08.82	2,056 m3/s	0,403 m3/s	2,459 m3/s
09.08.82	2,226	0,158	2,374
11.08.82	2,222	0,250	2,472
11.08.82	2,078	0,418	2,496
15.08.82	2,135	0,402	2,537
16.08.82	2,135	/	2,135
18.08.82	2,078	0,306	2,384
14.09.82	2,056	0,403	2,459
23.09.82	2,109	0,262	2,371
01.10.82	1,866	0,553	2,419
02.10.82	2,034	0,344	2,378
05.10.82	2,070	0,353	2,423
08.10.82	1,497	0,938	2,435
12.10.82	1,942	0,487	2,429
13.10.82	1,806	0,612	2,418
15.10.82	1,383	1,208	2,591
25.10.82	2,200	0,879	3,079
09.11.82	1,625	0,596	2,221
10.11.82	1,669	0,778	2,447
11.11.82	1,723	0,778	2,501
12.11.82	1,937	0,661	2,598
15.11.82	1,923	0,728	2,651
16.11.82	1,675	0,977	2,652
20.11.82	1,749	0,904	2,653
22.11.82	1,988	0,706	2,694
24.11.82	1,755	0,840	2,695
28.11.82	1,841	0,750	2,591
30.11.82	1,796	0,750	2,646
30.11.82	1,718	0,828	2,546
04.12.82	1,718	0,798	2,516
05.12.82	2,012	0,656	2,668
07.12.82	1,970	0,656	2,626
08.12.82	1,608	1,117	2,725
11.12.82	1,723	1,094	2,817
13.12.82	0,787	1,349	2,136
28.12.82	1,870	1,083	2,953
31.12.82	1,860	1,072	2,932
02.01.83	1,909	0,865	2,774
04.01.83	1,988	0,931	2,919
07.01.83	1,956	0,911	2,867
11.01.83	2,069	0,774	2,843
11.01.83	1,894	0,876	2,770
16.01.83	1,909	0,862	2,771
17.01.83	2,087	0,794	2,891
18.01.83	1,860	0,862	2,722
21.01.83	1,851	0,843	2,694
30.01.83	2,091	0,674	2,765
31.01.83	2,087	0,670	2,757
01.02.83	1,780	0,805	2,585
03.02.83	1,749	0,805	2,554
06.02.83	1,993	0,728	2,721
07.02.83	1,739	0,973	2,712
12.02.83	1,890	0,883	2,773
18.02.83	1,875	0,824	2,699

Annexe 3 - Chronique des débits du système de Touzac-Soturac de janvier 1982 à février 1983.



Annexe 4 - Chronique des débits de la source de Lenclio de novembre 1970 à novembre 1971.



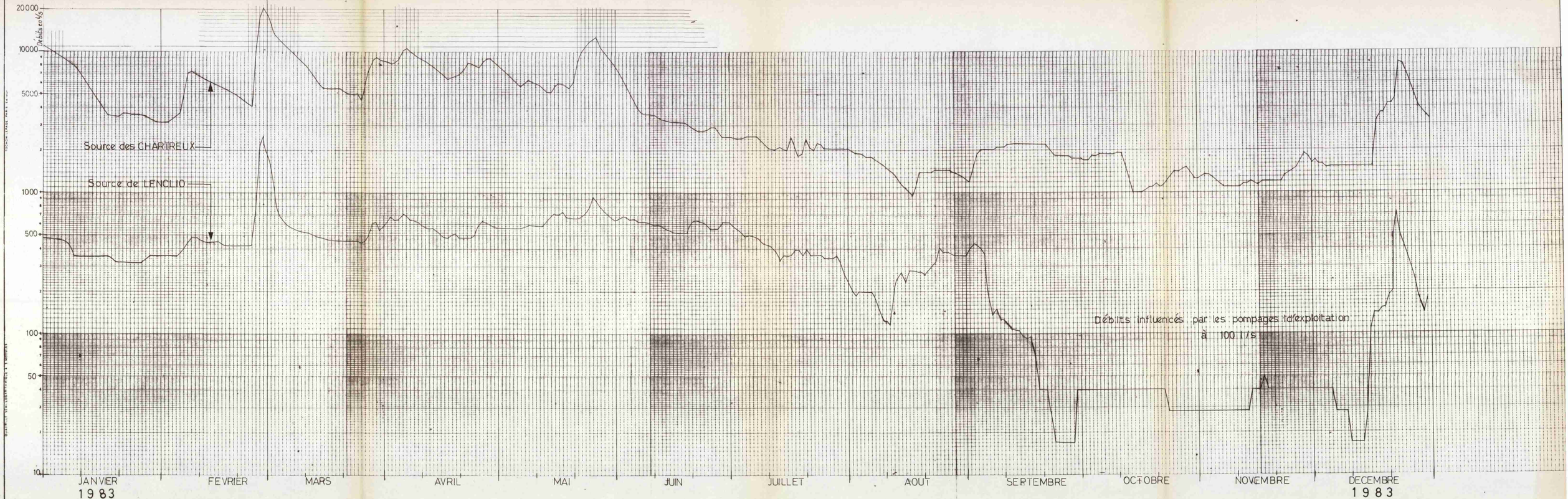
Annexe 5 - Débits de la source de Lenclio de mai 1982 à mai 1984.

Moyennes journalières en l/s

	1982								1983														1984				
	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI
1		383	296	152	176	176	344	388	480	360	1 545	632.	560	658	578	205	406	40	28	40	282	651	388	500	234
2		360	268	176	176	176	328	406	480	360	1 057	672	560	672	546	188	438	40	28	40	282	630	374	480	217
3		360	256	217	152	158	328	406	480	360	716	644	560	672	523	200	424	40	28	40	282	613	360	466	217
4		352	268	217	152	164	328	388	466	360	621	651	560	651	480	200	406	40	28	40	268	890	344	438	234
5		352	245	217	152	176	328	374	468	374	595	716	560	651	493	200	360	40	28	40	268	1 095	328	430	217
6		328	222	234	152	360	312	456	452	406	560	700	560	630	493	200	182	40	28	28	297	638	344	424	217
7	388	328	187	205	152	390	282	1473	438	452	560	658	578	630	484	188	136	40	28	28	371	893	344	424	200
8	388	349	176	211	152	344	268	1595	360	480	540	651	596	630	452	152	152	40	28	28	443	1 564	360	424	200
9	388	339	200	190	152	328	268	1490	360	480	520	630	596	618	438	128	128	40	28	28	438	1 328	360	424	200
10	388	328	176	176	152	282	268	1306	360	466	520	596	596	596	422	128	128	40	28	17	406	849	360	424	217
11	388	328	164	216	152	268	268	1580	360	452	520	578	596	596	402	118	118	40	28	17	374	558	360	424	234
12	388	328	152	176	152	282	268	2340	360	452	500	560	596	596	392	212	108	40	28	17	381	486	360	388	251
13	388	349	152	176	152	480	360	2155	360	452	480	560	621	558	328	248	108	40	28	17	438	438	360	388	234
14	360	378	176	176	152	355	480	1690	360	452	480	540	686	546	360	268	107	40	40	28	497	406	360	374	234
15	360	388	164	176	128	434	622	1450	360	452	480	500	700	533	360	234	97	40	40	103	520	374	360	360	234
16	368	378	170	176	128	358	613	1490	360	438	466	480	700	520	360	280	93	40	40	140	520	360	360	321	234
17	360	360	158	152	128	328	558	1526	360	424	452	480	738	520	392	280	97	40	69	140	500	360	344	268	217
18	360	338	160	152	128	312	500	1506	344	424	452	500	672	530	392	271	72	40	40	152	466	344	328	268	187
19	350	328	176	176	128	296	466	1039	328	424	452	500	672	530	360	278	40	40	40	152	497	344	328	251	152
20	350	320	152	176	128	296	452	656	328	424	452	480	672	607	392	261	40	40	40	188	583	328	328	234	152
21	336	296	152	176	128	265	452	578	328	424	452	480	672	630	360	280	40	40	40	200	520	344	344	234	184
22	328	296	152	176	128	217	438	560	328	424	452	480	694	630	360	302	28	40	40	482	597	400	360	234	128
23	296	296	108	176	128	248	406	500	328	424	452	480	730	607	360	328	17	28	40	705	1 288	442	360	234	140
24	287	317	108	176	128	306	388	480	328	438	452	506	780	607	360	406	17	28	40	510	1 575	452	328	251	188
25	250	306	128	176	128	296	388	480	328	744	438	593	956	560	344	388	17	28	40	406	860	452	296	234	152
26	274	286	152	176	128	494	388	466	328	2 049	452	630	892	560	344	188	17	28	40	342	576	438	338	234	187
27	286	280	152	176	128	506	388	466	344	2 813	506	613	818	560	344	374	17	28	40	282	452	424	442	234	296
28	279	286	152	176	128	438	388	480	360	1 926	606	596	745	606	360	360	17	28	40	200	424	424	500	234	412
29	260	282	152	176	128	414	588	480	360		613	576	701	606	328	360	40	28	40	176	406	406	584	234	390
30	268	290	152	176	160	392	388	480	360		560	560	672	613	265	380	40	28	40	140	412		546	234	328
31	282		152	176				480	360		578		651		234	360		28		176	516		520		282
	334	330	177	183	142	325	388	940	374	622	566	575	667	597	385	282	130	36	36	158	511	583	378	335	224

d 8,4,1,0,3 | 2,3,0

D.D.A._46_1 1983 — SOURCES DE LENCLIO ET DES CHARTREUX_CHRONIQUE DES DEBITS



Annexe 6 - Chronique des débits des sources de Lenclio et des Chartreux de janvier 1983 à décembre 1983.

MONTSEMPRON-LIBOS (Années hydrologiques)

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Année hydrologique
PLUIES TOTALES													
1980-1981	45	111	44	69	97	53	79	32	176	38	71	39	854
1981-1982	74	106	18	246	60	63	62	6	79	72	107	57	950
1982-1983	73	163	66	169	23	119	54	91	112	97	36	80	1083
1983-1984	25	36	33	74									
PLUIES EFFICACES (calculs effectués avec températures et insolations d'Agen)													
1980-1981	0	0	0	39	80	32	22	0	49	0	0	0	222
1981-1982	0	0	0	180	36	38	14	0	0	0	0	0	268
1982-1983	0	17	39	155	5	101	6	19	24	0	0	0	366
1983-1984	0	0	0	0									

Annexe 7 - Montsempron-Libos : pluies totales et pluies efficaces de septembre 1980 à décembre 1983.

PUY L'EVEQUE (Années hydrologiques)

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Année hydrologique
PLUIES TOTALES													
1980-1981	38	115	57	84	108	59	86	44	152	47	99	31	920
1981-1982	77	116	22	260	65	60	67	5	62	67	46	68	915
1982-1983	82	188	71	185	25	110	59	94	111	39	26	91	1081
1983-1984	35	40	37	76									
PLUIES EFFICACES (calculs effectués avec températures de Montcuq-Rouillac et insolations d'Agen)													
1980-1981	0	0	1	73	93	40	30	0	39	0	0	0	276
1981-1982	0	0	0	211	41	35	22	0	0	0	0	0	309
1982-1983	0	44	45	172	7	93	14	24	25	0	0	0	424
1983-1984	0	0	0	0									

Annexe 8 - Puy-l'Evêque : pluies totales et pluies efficaces de septembre 1980 à décembre 1983.

TOURNON D'AGENAIS (Années hydrologiques)

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Années hydrologiques
PLUIES TOTALES													
1980-1981	32	112	54	69	86	51	68	42	142	38	66	28	788
1981-1982	68	102	21	220	57	56	73	6	83	81	66	79	912
1982-1983	63	152	82	124	23	92	59	97	83	55	41	98	969
1983-1984	22	28	34	64									
PLUIES EFFICACES (calculs effectués avec températures et insolations d'Agen)													
1980-1981	0	0	0	50	69	30	11	0	25	0	0	0	185
1981-1982	0	0	0	153	33	31	25	0	0	0	0	0	242
1982-1983	0	6	55	110	5	74	11	25	0	0	0	0	286
1983-1984	0	0	0	0									

Annexe 9 - Tournon d'Agenais : pluies totales et pluies efficaces de septembre 1980 à décembre 1983.

Annexe 10 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Touzac.

Analyses DDA du Lot

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

ANALYSE DES EAUX DE SOURCE : TOUZAC										
Date	23.01.74	06.08.75	27.10.81	1.12.81	7.5.82	18.8.82	7.09.82	1.02.83	9.9.83	10.2.84
CARACTERES ORGANOLEPTIQUES Couleur										
Turbidité	12	5	17	10	27	13	6	10	20	26
Température	14° 8	15°	15°	14° 6				14°4	15°4	14°
FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES pH	6.88	7.09	6.98	6.97	7.43	7.35	7.28	7.26	7.38	7.56
Résistivité	2 592	2 840	2 603	2 717	2 520	2 625	2 702	2 460	2 700	2 352
Minéralisation totale	260	260	270	265						
Dureté totale	23	21.35	21.1	20.45	23.60	21.50	21.50	24	21.9	25.0
Calcium	79	73	72	70	81	73	73	83	75	86.0
Magnésium	7.9	7.5	7.5	7.2	8.1	7.9	7.9	7.9	7.7	8.5
Sodium	4.5	4.5	5.5	5.0						
Potassium	1.0	0.85	1.1	1.0						
Aluminium	0.03	0.021	0.014	0.016						
Alcalinité (HCO_3^-)	250.1	241	229	232	259	235	244	274.5	244	274.50
Sulfates	19.2	9.0	13.0	18.00	13.00	18.00	15	12.50	17	14.50
Chlorures	9.4	8.8	6.05	7.8	8.87	10.60	10.60	10.60	8.87	12.42
Nitrates (NO_3^-)	0.5	4.4	8.05	3.6	6.27	5.98	4.75	7.74	7.48	9.01
Nitrites	0.03									
Ammoniaque										
Silice	12.6	18.9	9.48	8.47						
Oxygène dissous	6.95	5.85	5.95	6.70						
FACTEURS INDESIRABLES OU TOXIQUES Arsenic	<0.005	<0.001	0.002	0.002						
Baryum										
Cadmium										
Cuivre	0.01	<0.003	0.003	0.002						
Fluor	0	0	0.11	0.14						
Fer	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0.12	0.07
Manganèse										
Plomb	0.002	0.002	0.002	0.001						
Sélénium										
Zinc	0.020	0.011	0.055	0.050						

Annexe 11 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Soturac.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

ANALYSE DES EAUX DE SOURCE : SOTURAC										
Date	27.10.81	1.12.81	7.5.82	18.8.82	7.9.82	1.2.83	9.9.83	14.2.84		
CARACTERES ORGANOLEPTIQUES Couleur										
Turbidité	18	10	6	4	6	26	12	42		
Température	14°8	14°6				13°4	15°4	12°7		
FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES pH	7.04	7.00	7.34	7.33	7.26	7.28	7.43	7.55		
Résistivité	2760	2777	2562	2625	2702	2736	2700	2631		
Minéralisation totale	260	260								
Dureté totale	20.8	20.45	23.30	21.70	21.65	21.00	22.75	22.20		
Calcium	70.0	70.0	80.0	74.0	74.0	72.0	78.0	76.0		
Magnésium	7.5	7.2	8.0	7.8	7.7	7.3	7.85	7.7		
Sodium	5.0	5.0								
Potassium	1.2	1.0								
Aluminium	0.021	0.025								
Alcalinité (HCO_3^-)	229	223	260	232	244	229	244	244		
Sulfates	13.0	18.0	13.0	17.0	15.0	15.5	16.0	12.8		
Chlorures	5.8	8.2	7.10	10.6	10.6	8.87	8.87	10.65		
Nitrates (NO_3^-)	7.34	5.72	7.92	5.98	5.15	8.18	6.95	9.02		
Nitrites	0.04									
Ammoniaque										
Silice	9.36	8.47								
Oxygène dissous	6.35	6.80								
FACTEURS INGESTIBLES OU TOXIQUES Arsenic	0.002	0.002								
Baryum										
Cadmium		0.005								
Cuivre	0.004	0.002								
Fluor	0.11	0.13								
Fer	0.10	0	0.02	0.25	0	0.19	0.05	0.11		
Manganèse		0.02								
Plomb	0.12	0.002								
Sélénium	< 0.001	< 0.001								
Zinc	0.12	0.065								

Analyses DDA du Lot

Annexe 12 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Bouyssac.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

ANALYSE DES EAUX DE SOURCE : BOUYSSAC										
Date	23.1.74	27.10.81	1.12.81	7.5.82	9.9.83	14.2.84				
CARACTERES ORGANOLEPTIQUES Couleur										
Turbidité	20	20	5	7	22					
Température	13°6	13°7	13°6	-	14°1	13°2				
FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES pH	6.72	6.71	6.71	7.19	7.18	7.53				
Résistivité	1812	1890	1850	1950	1965	2028				
Minéralisation totale	380	420	420							
Dureté totale	32.45	33.6	33.15	32.8	33.3	31.45				
Calcium	110	124	120	118	118	116				
Magnésium	7.20	6.30	7.60	8.00	9.20	6.00				
Sodium	3.40	3.90	4.10							
Potassium	0.8	1.50	1.00							
Aluminium	0.015	0.032	0.009							
Alcalinité (HCO_3^-)	354	363	372	372	372	330				
Sulfates	24.0	13.0	9.60	11.0	11.0	12.0				
Chlorures	10.0	7.20	8.00	7.10	8.87	14.2				
Nitrates (NO_3^-)	6.16	21.0	15.84	11.22	11.88	22.57				
Nitrites										
Ammlaques										
Silice	9.10	6.57	6.60							
Oxygène dissous	8.45	8.35	8.20							
FACTEURS INDESIRABLES OU TOXIQUES Arsenic	0.005	<0.001	0.001							
Baryum										
Cadmium		<0.0005								
Cuivre	<0.001	0.002	0.002							
Fluor	0	0.11	0.15							
Fer				0.02						
Manganèse										
Plomb	0.002	0.001	<0.001							
Sélénium		<0.001	<0.001							
Zinc	0.002	0.023	0.007							

Analyses DDA du Lot

Annexe 13 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source de Lenclio.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

ANALYSE DES EAUX DE SOURCE : LENCLIO										
Date	7.12.64	23.1.74	1.02.83	9.9.83	14.2.84					
CARACTERES ORGANOLEPTIQUES Couleur										
Turbidité	2	6	11	8	12					
Température	13°5	14°6	14°5	14°9	13°8					
FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES pH	6.77	7.05	7.15	7.16	7.43					
Résistivité	1795	1814	1824	1815	1885					
Minéralisation totale	360	400								
Dureté totale	33.6	34.5	34.43	35.10	33.85					
Calcium	114	122	118	117	118					
Magnésium	12.5	11	12	14.2	10.6					
Sodium	4.0	4.0								
Potassium	1.5	1.0								
Aluminium		0.04								
Alcalinité (HCO_3^-)	392	372	378.2	381	354					
Sulfates	13	24.0	13.85	13.0	14.25					
Chlorures	11.8	8	10.60	10.60	14.20					
Nitrates (NO_3^-) :	7.3	8.2	15.86	11.88	23.76					
Nitrites		0.02	0	0	0.02					
Ammiaque			0	0	0					
Silice	4.2	9.10								
Oxygène dissous		7.7								
FACTEURS INDESIRABLES OU TOXIQUES Arsenic	< 0.005	< 0.005								
Baryum										
Cadmium										
Cuivre		0.001								
Fluor										
Fer	0.04	0	0	0	0					
Manganèse										
Plomb		< 0.001								
Sélénium										
Zinc		0.002								

Analyses DDA du Lot

Analyses DDA du Lot

Annexe 14 - Caractéristiques physico-chimiques de eaux de la rivière Lot.

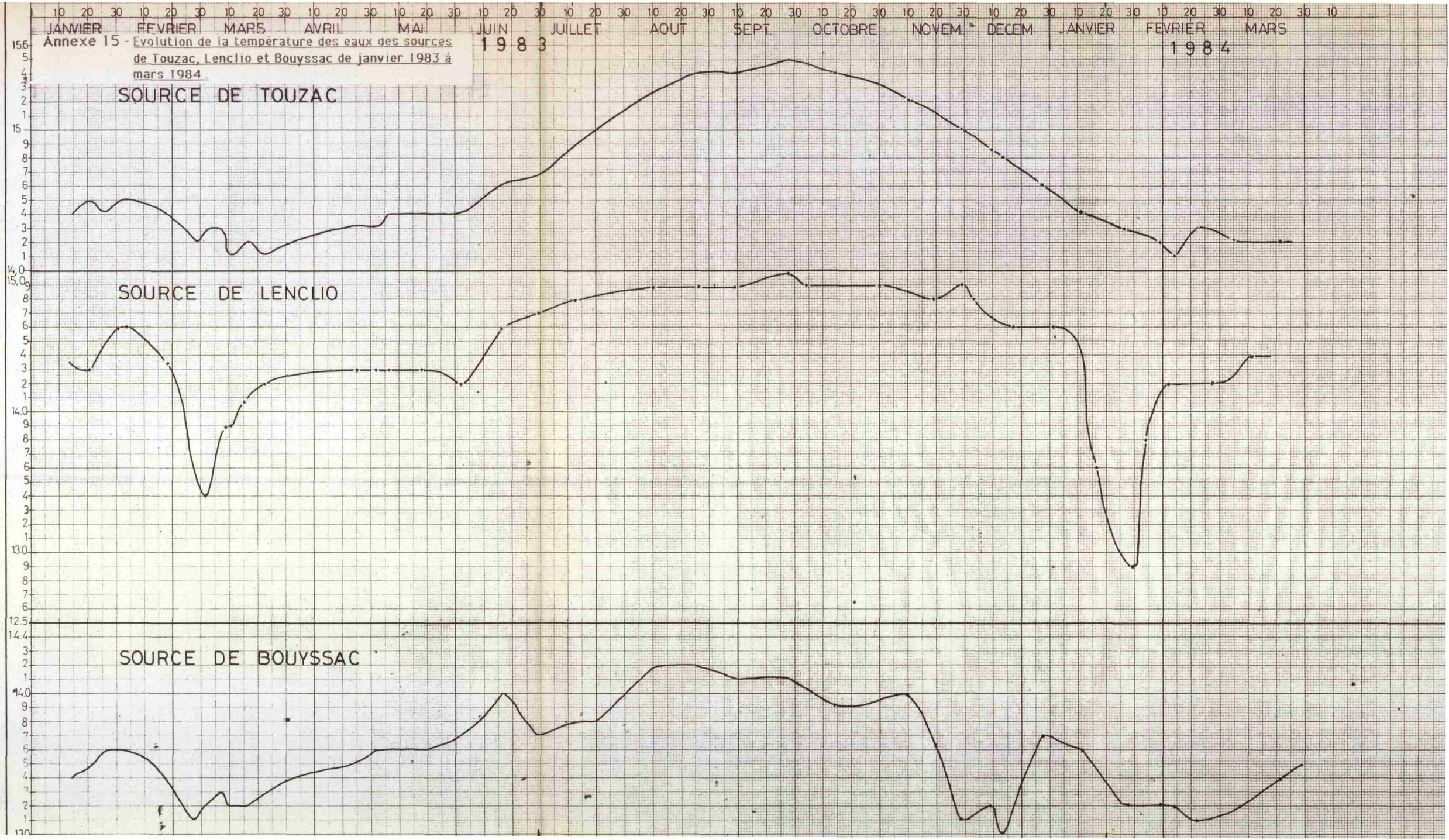
CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

ANALYSE DES EAUX Rivière LOT									
Date	23.1.74	27.10.81	1.12.81	7.5.82	18.8.82	7.8.82	1.2.83	14.9.83	14.2.84
CARACTERES ORGANOLEPTIQUES Couleur				Verte					
Turbidité	20	78	30	18	100	60	70	48	73
Température	6°4	12°5	8°1				6°4	22°4	6°4
FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES pH	7.38	7.45	7.47	7.48	8.25	7.86	7.53	7.86	7.80
Résistivité		5900	5377	4514	4200	5060	5520	3915	5135
Minéralisation totale	110	150	160						
Dureté totale	8.60	8.35	8.40	11.70	12.40	10.70	9.22	13.80	10.55
Calcium	25	25	24	37	38	34	29.5	45	35
Magnésium	4.2	4.9	5.8	6.0	7.0	5.40	4.50	6.20	4.30
Sodium	3.0	4.1	6.0						
Potassium	0.9	1.3	1.4						
Aluminium	0.07	0.08	0.06						
Alcalinité (HCO_3^-)	91.5	82.3	79.3	116.0	113.0	100.8	97.6	137.25	106.75
Sulfates	2 4	17	22	22	32	24	14.25	24	10.5
Chlorures	4.9	3.55	6.6	5.32	7.1	7.1	3.5	7.1	5.32
Nitrates (NO_3^-)	0.88	3.10	2.37	1.89	-	3.43	1.54	2.68	4.66
Nitrites	0,02	0.04	0	0.04	0	0	0.04	0.02	0.02
Ammoniaque		0.02	0.047						
Silice	11.3	9.8	7.48						
Oxygène dissous		11.2	11.7						
FACTEURS INDESIRABLES OU TOXIQUES Arsenic	< 0.005	0.006	0.005						
Baryum									
Cadmium			0.015						
Cuivre	0.004	0.009	0.005						
Fluor		0.11	0.12						
Fer	0.21	0.30	0.30	0.20	0.07	0.24	0.30	0.25	0.12
Manganèse	0	0.10	0.08	0	0.02	0.03	0	0	0
Plomb	0.006	0. 012	0.005						
Sélénium		< 0.001	< 0.001						
Zinc	0.21	0.77	1.15						

J.C. R. 84 075 - 23 U.

D.D.A.-46-TEMPERATURE DES EAUX -

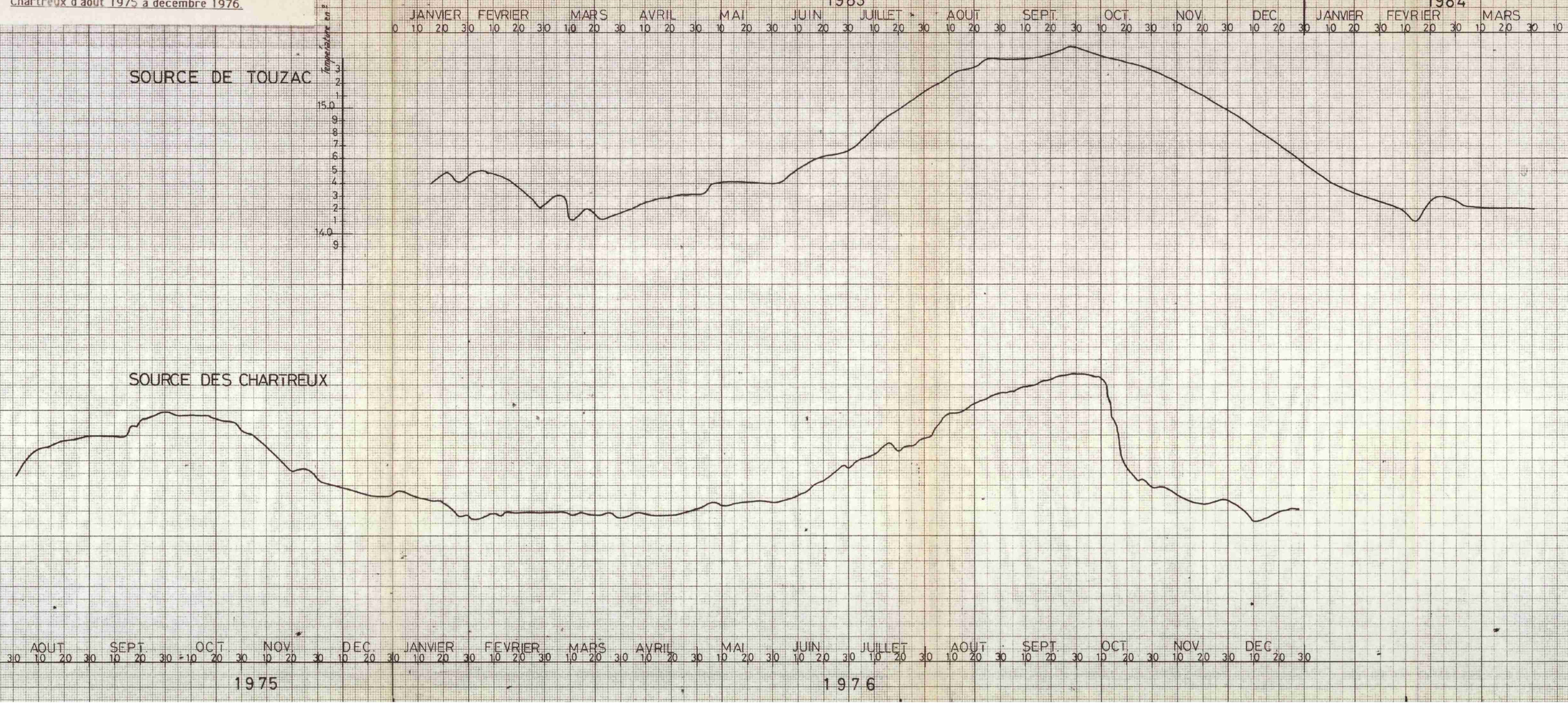
Annexe 15 - Evolution de la température des eaux des sources de Touzac, Lenclio et Bouyssac de janvier 1983 à mars 1984.



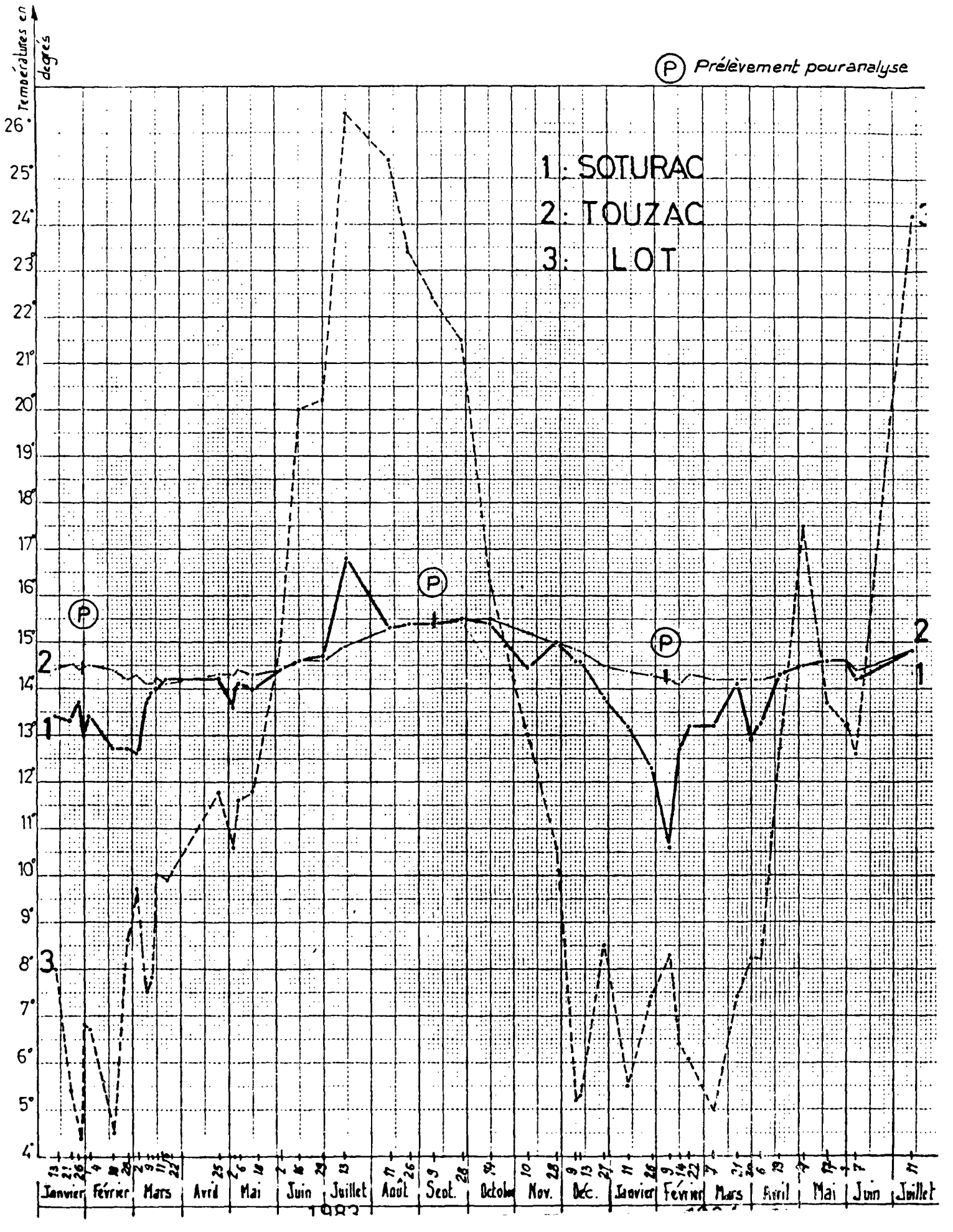
Annexe 16 - Evolution de la température des eaux des sources de Touzac de janvier 1983 à mars 1984 et des Chartreux d'août 1975 à décembre 1976.

D.D.A. 46 - EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DES EAUX

J.C.R. 84 D76 - 230



Annexe 17 - Evolution comparée de la température des eaux des sources de Touzac et de Soturac et des eaux de la rivière Lot de janvier 1983 à juillet 1984.



DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE DU LOT

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

GEOLOGIE DU BASSIN DU LOT DE CAHORS A FUMEL

Echelle 1/100.000

84 AGI 376 MPY

LEGENDE

- g2b-3m1-2 — Oligocène supérieur- Aquitanien, calcaires
- g1-2a — Stampien inférieur, marnes à lentilles sableuses
- Atc — Altérites (Sidérolithique)
- C1-5 — Cénomanien- Turonien- Coniacien, calcaires
- J-9 — Portlandien, calcaires et dolomies
- J-8 — Kimméridgien supérieur, alternances marno-calcaires
- J1-7 — Bajocien à Kimméridgien inférieur, calcaires
- Toarcien, marnes
- Faille, brèches
- Flexure
- Axe synclinal
- Source
- V — Perte