

DOCUMENT PUBLIC

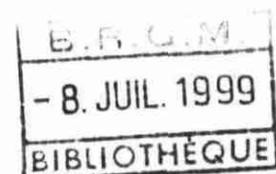
***PRD324-98 Hydrogéologie des aquifères
discontinus
Ressources en Eau Margeride Ouest***

***Synthèse des résultats de la première phase du projet
Méthodologie d'analyse multicritères pour la
cartographie des potentialités en eau souterraine
des aquifères de socle
Sélection de sites expérimentaux***

**P. Lachassagne, P. Bérard, J.L. Blès, L. Chéry, J.F. Desprats, J.L. Izac,
P. Le Strat, R. Wyns**

Contrôle qualité C. Wittwer

**Février 1999
R 40293**



Mots clés : Hydrogéologie, aquifère discontinu, altérites, horizon fissuré-altéré, pentes, lithologie, photo-interprétation, fracturation, contraintes, arsenic, analyse multicritères, cartographie, SIG, socle, granite, alluvions, Truyère, Lozère, France

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Lachassagne P., Bérard P., Blès J.L., Chéry L., Desprats J.F., Izac J.L., Le Strat P., Wyns R.- PRD324-98 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Synthèse des résultats de la première phase du projet. Méthodologie d'analyse multicritères pour la cartographie des potentialités en eau souterraine des aquifères de socle. Sélection de sites expérimentaux.- Rapport BRGM R 40293 63 p., 20 fig., 4 tabl., 9 ann..

Synthèse

Les communautés rurales des régions de socle cristallin de la Lozère présentent un habitat très dispersé. Conjugué au faible débit unitaire des sources d'arènes, il induit un nombre important et une forte dispersion des sites de captage qui posent de ce fait des problèmes tant de quantité que de qualité.

A la demande du Conseil Général de la Lozère et de l'Agence de l'Eau Adour Garonne, le BRGM réalise donc un programme de recherche scientifique et technique destiné à mettre en valeur la ressource en eau souterraine des zones de socle du département (PRR324-98). En effet, compte tenu des technologies qui étaient disponibles jusqu'à ces dernières années, cette ressource n'a fait l'objet que de travaux de prospection ponctuels. Le programme de recherche est donc destiné à :

- améliorer la connaissance fondamentale de la structure et du fonctionnement des hydrosystèmes de socle (substratum cristallin, altérites, formations alluviales) de la Lozère,
- mettre au point une méthodologie opérationnelle de prospection, adaptée au contexte particulier du département de la Lozère et apporter des éléments opérationnels de démonstration de son efficacité, par forages, et
- évaluer la ressource en eau exploitable.

Ce programme est mis en œuvre à l'échelle du bassin versant lozérien de la Truyère, d'une superficie de 730 km². Il s'inscrit dans le cadre des activités de Recherche et Développement du BRGM concernant l'hydrogéologie des aquifères discontinus.

Le présent document, accompagné de cinq autres rapports techniques joints en annexe, présente les résultats de la première phase du projet.

L'acquisition de données cartographiques et de terrain a permis de développer une méthodologie d'évaluation des potentialités en eau souterraine des régions de socle. Elle est basée sur une analyse multicritères qui prend en considération la structure et le fonctionnement de ce type d'aquifère. Mise en œuvre sur le bassin versant lozérien de la Truyère, cette méthodologie a permis de proposer le choix de sites expérimentaux qui feront l'objet, dans le cadre des phases ultérieures du projet, d'investigations plus détaillées (implantation et réalisation de sondages de reconnaissance).

Par ailleurs, une typologie des formations alluviales a été réalisée. Elle conduit elle aussi à la proposition de sites expérimentaux.

La première des deux phases annuelles d'acquisition de données hydrologiques d'étiage (physico-chimie et débit des sources et débits des cours d'eau) a été mise en œuvre en 1998. Les informations recueillies seront confrontées aux données disponibles à l'échelle des différents compartiments géologiques (lithologie du substratum, nature et épaisseur des altérites, morphologie, fracturation, etc.) afin de mettre au point une méthodologie d'évaluation de la ressource en eau souterraine des régions de socle.

Sommaire

SYNTHÈSE	3
INTRODUCTION	9
1. Contexte	9
2. Problème posé	10
3. Objectifs.....	12
4. Contenu et phasage des travaux de recherche.....	12
4.1. Identification des différentes formations aquifères - Sélection de secteurs d'investigations de terrain.....	13
4.2. Evaluation de la ressource en eau.....	14
4.3. Mise au point d'une méthodologie de prospection hydrogéologique des formations du socle cristallin. Forages de reconnaissance	15
4.4. Reconnaissance des formations alluviales. Evaluation de la ressource exploitable.....	17
4.5. Validation et synthèse. Cartographie des potentialités en eau souterraine	18
4.6. Bilan et prospectives.....	18
1. DÉROULEMENT DE LA PREMIÈRE PHASE DU PROJET	21
2. PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS	23
2.1. Travaux réalisés par la société du Canal de Provence.....	23
2.2. Établissement d'une cartographie préliminaire des potentialités en eau souterraine du socle.....	23
2.2.1. Données utilisées.....	25
2.2.2. Analyse multicritères.....	41
2.3. Typologie des Formations alluviales.....	45
3. PROPOSITION DE SITES DE PROSPECTION EXPÉRIMENTAUX	49
3.1. Socle	49
3.1.1. Définition de zones d'intérêt pour la prospection hydrogéologique.....	49
3.1.2. Zones retenues pour la recherche de sites de prospection.....	51
3.1.3. Sites de prospection choisis à l'issue de la première phase du projet	51
3.2. Formations alluviales	58
4. AUTRES TRAVAUX EN COURS D'AVANCEMENT	61
4.1. Evaluation de la ressource en eau	61
4.2. Bilan et Prospectives.....	62
5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63

Liste des figures :

- Figure 1 : Situation du bassin versant Lozérien de la Truyère
- Figure 2 : Epaisseur de la zone fissurée-altérée et des altérites
- Figure 3 : Carte des pentes
- Figure 4 : Géologie : fracturation et lithologie des formations superficielles et du substratum
- Figure 5 : Fracturation : linéaments identifiés sur photographies aériennes IGN
- Figure 6 : Hiérarchisation des éléments structuraux en fonction des contraintes tectoniques actuelles
- Figure 7 : Qualité prévisionnelle des eaux souterraines. Localisation des points de prélèvement des analyses chimiques disponibles
- Figure 8 : Teneurs en Arsenic et en Zinc dans les sols
- Figure 9 : Teneurs en Baryum et en Plomb dans les sols
- Figure 10 : Carte préliminaire des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°1
- Figure 11 : Carte préliminaire des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°2
- Figure 12 : Typologie des formations alluviales et hiérarchisation des sites de prospection
- Figure 13 : Zones d'intérêt pour la prospection hydrogéologique du socle
- Figure 14 : Socle et alluvions. Régions retenues pour la recherche de sites de prospection. Sites de prospection retenus à l'issue de la phase 1 du projet
- Figure 15 : Site de prospection socle sur les communes de Termes, les Monts Verts et la Fage Saint Julien
- Figure 16 : Site de prospection socle sur les communes de la Fage Saint Julien et de Les Bessons
- Figure 17 : Site de prospection socle sur les communes d'Aumont-Aubrac et de Javols
- Figure 18 : Site de prospection socle sur la commune de Saint Alban sur Limagnole
- Figure 19 : Site de prospection alluvions sur la commune du Malzieu Ville
- Figure 20 : Site de prospection alluvions de Chinchazes sur la commune de Saint Alban sur Limagnole

Liste des tableaux :

- Tableau 1 : Matrice d'évaluation utilisée pour l'élaboration de la carte des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°1
- Tableau 2 : Matrice d'évaluation utilisée pour l'élaboration de la carte des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°2
- Tableau 3 : Sites de prospection « socle » proposés sur les secteurs définis les 30/07 et 4/09/98
- Tableau 4 : Sites de prospection « socle et alluvions » retenus à l'issue de la phase 1 du projet

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Comptes-rendus des réunions du Comité de Pilotage des 25/03/98 et 23/07/98 (comité technique et comité élargi) et des réunions des 30/07/98 et 4/09/98
- Annexe 2 : Note technique d'avancement présentée par le BRGM au Comité de Pilotage du 23/07/98
- Annexe 3 : Caractéristiques des sondages et forages d'eau réalisés au sein des formations de socle en Lozère
- Annexe 4 : Analyses chimiques disponibles pour les teneurs en métaux des sources du bassin versant lozérien de la Truyère

RAPPORTS JOINTS EN ANNEXE :

Annexe 5 :

BRUEL Th. (1998) - Ressources en Eau de la Margeride Ouest. Identification et analyse des réseaux de fractures sur le bassin versant lozérien de la Truyère et mise en relation avec les états de contraintes actuelles.- Rapport Université de Montpellier II, 55 p., 27 fig., 25 ph., 1 ann..

Annexe 6 :

LAPSCHER S. (1998) - Ressources en Eau Margeride Ouest. Evaluation de la ressource.- Rapport de stage 2^{ème} année ISIM, Département des Sciences et Technologies de l'Eau, 2 Vol..

Annexe 7 :

LE STRAT P. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Synthèse géologique du bassin versant lozérien de la Truyère.- Rapport BRGM R 40222, 39 p., 3 fig..

Annexe 8 :

LE STRAT P. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Légende de la carte géologique de synthèse du bassin versant lozérien de la Truyère. Echelle 1/100.000.- Rapport BRGM R 40223, 28 p..

Annexe 9 :

WYNS R. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur) des arènes granitiques du bassin versant Lozérien de la Truyère.- Rapport BRGM R 40191, 18 p., 9 fig., 4 pl. h.t..

Introduction

1. CONTEXTE

Les deux tiers de la superficie du département de la Lozère sont formés de socle cristallin (sous-sol de nature granitique et métamorphique). Dans un tel contexte géologique, les **systèmes aquifères** sont constitués schématiquement :

- du *substratum rocheux*. Il est très perméable localement, au droit des fractures qui l'affectent, mais n'offre en général qu'une très faible capacité de stockage d'eau souterraine à l'échelle du massif,
- des *formations d'altération* de ce substratum, les altérites (ou arènes), qui le recouvrent sur une épaisseur variable (de 0 à plusieurs dizaines de mètres). Du fait de leur composition argilo - sableuse, elles sont caractérisées par une perméabilité relativement faible, mais par d'importantes capacités de rétention d'eau. Cette partie du système assure une fonction de stockage des eaux souterraines,
- d'*alluvions*, associées aux principaux cours d'eau. Ces dernières peuvent, dans certaines configurations favorables (perméabilité, extension latérale et épaisseur, position par rapport au niveau du cours d'eau en basses eaux, etc.), constituer une ressource en eau souterraine significative.

La **ressource en eau souterraine** que renferment ces systèmes aquifères de socle peut en général être valorisée de deux manières :

- soit, par l'intermédiaire de captages traditionnels, en recueillant, au niveau des *sources d'arènes*, les seules eaux de débordement de l'aquifère. Ce type de captage est particulièrement vulnérable, tant du point de vue de la qualité des eaux recueillies que de celui de la quantité disponible en période d'étiage,
- soit, au moyen de *forages*, d'une profondeur de quelques dizaines de mètres, qui, en recoupant les fractures de la roche saine, permettent de disposer d'un débit important et modulable en fonction des besoins. Ces ouvrages drainent l'eau souterraine contenue au sein des altérites sus-jacentes qui contribuent ainsi à assurer la pérennité à long terme du débit exploité.

Les eaux souterraines des nappes alluviales peuvent elles aussi être exploitées, au moyen de forages de faible profondeur.

2. PROBLÈME POSÉ

Les communautés rurales de Lozère présentent un habitat très dispersé, en particulier dans les secteurs de socle cristallin. Elles sont pour la plupart alimentées en eau potable par le captage de sources dont le débit unitaire est relativement faible, surtout en période de basses eaux. La conjonction de cet habitat dispersé et du faible débit des sources induit un très grand nombre et une très forte dispersion des sites de captage. Cet état de fait génère, par voie de conséquence, des problèmes tant de quantité (ressource disponible en basses eaux) que de qualité (entretien et protection des captages, traitement de l'eau en distribution, etc.).

Le **Département de la Lozère** souhaiterait donc mettre en valeur des ressources en eau complémentaires, moins dispersées, plus faciles à protéger, et au débit unitaire plus important, en faisant appel entre autres aux **eaux souterraines**.

Cette ressource est relativement mal identifiée. Située dans un contexte hydrogéologique difficile compte tenu des technologies qui étaient disponibles jusqu'à ces dernières années, elle n'a fait l'objet jusqu'à présent que de travaux de prospection ponctuels.

Pour mener à bien cet objectif de mise en valeur, le Conseil Général de la Lozère a demandé au BRGM de lui proposer un programme de recherche scientifique et technique destiné à :

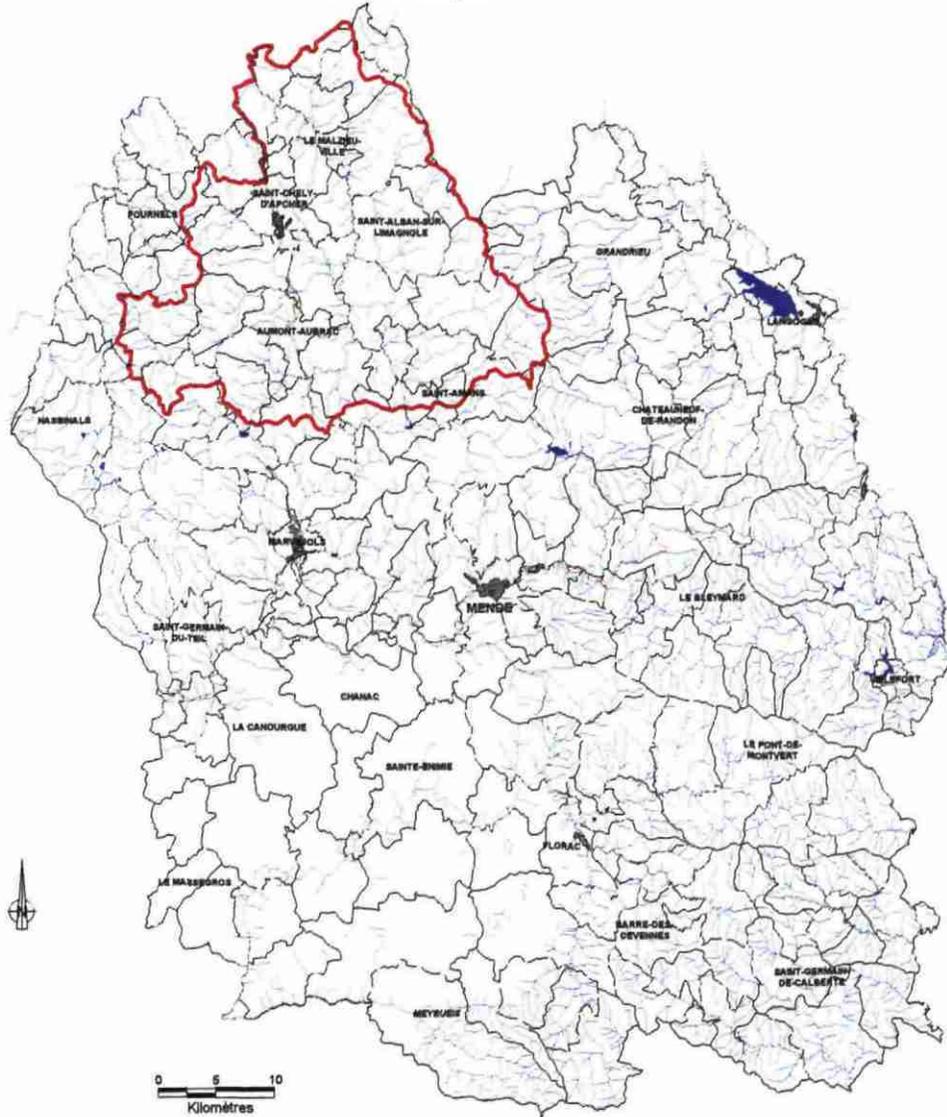
- améliorer la connaissance fondamentale de la structure et du fonctionnement des hydrosystèmes de socle (substratum cristallin, altérites, formations alluviales) de la Lozère,
- évaluer la ressource en eau exploitable,
- mettre au point une méthodologie opérationnelle de prospection, adaptée au contexte particulier du département de la Lozère et,
- à apporter des éléments opérationnels de démonstration de son efficacité.

Le Conseil Général a engagé par ailleurs un travail d'analyse des structures de distribution d'eau potable sur le **bassin versant lozérien de la Truyère** (BRL, 1996¹). Il souhaite donc mettre en oeuvre les travaux de recherche hydrogéologique dans ce même cadre géographique (Figure 1).

¹ BRL Ingénierie (1996).- Rationalisation de la desserte en eau potable. Bassin versant de la Truyère.- Conseil Général de la Lozère.- Rapport BRL Ingénierie, 3 vol..

Figure 1

LOZERE :
Situation du bassin versant de la Truyère



Origine des données : BD Cartho IGN, BRGM

Figure 1

Bassin versant lozérien de la Truyère

Superficie du bassin versant : 724 km²



Origine des données : BD Cartho IGN, BRGM

Ce bassin versant, au sein duquel la rivière prend sa source, occupe une superficie de 730 km² environ (Figure 1), répartis sur 35 communes (BRL, 1996). Il présente une population permanente de 17000 habitants dont une grande part est très dispersée : quatre communes approchent ou dépassent les 1000 habitants (Saint Chély d'Apcher 5500, St Alban sur Limagnole 2200, Aumont 1050 et le Malzieu - Ville 950) tandis que 14 d'entre elles ont une population inférieure à 200 habitants. Ces 35 communes sont alimentées en eau potable par un nombre élevé de captages (plus de 160 captages, dont 150 sources environ) qui desservent pour la plupart un nombre réduit d'abonnés. Plusieurs communes signalent d'ores et déjà des problèmes de pénurie et, sur 14 d'entre elles, la majorité des captages n'est pas conforme du point de vue de la qualité de l'eau distribuée. En outre, la pression saisonnière liée à l'augmentation de la population en période estivale (11000 habitants supplémentaires environ sur l'ensemble du bassin versant ; doublement voire triplement de la population dans les communes rurales) est très forte dans certaines communes au moment où de nombreuses sources présentent de faibles débits d'étiage.

3. OBJECTIFS

Le **principal objectif du projet de recherche** consiste à acquérir une compréhension suffisante de la structure et du fonctionnement hydrogéologique du bassin versant lozérien de la Truyère pour :

- identifier les différentes **formations aquifères**,
- évaluer la **ressource en eau exploitable** en leur sein,
- établir une **cartographie des potentialités en eau souterraine**,
- mettre au point une **méthodologie opérationnelle de prospection hydrogéologique** assurant un taux de succès acceptable des travaux de forage. Cette méthodologie pourra ensuite être mise en œuvre de manière opérationnelle par tout bureau d'étude spécialisé en hydrogéologie.

La réalisation, dans le cadre du projet, de **forages de reconnaissance hydrogéologique** permettra d'apporter des éléments de démonstration de l'efficacité de la méthodologie développée dans le cadre du projet. Ces ouvrages pourront le cas échéant être transformés en forages d'exploitation des eaux souterraines.

Par ailleurs, les résultats obtenus sur le bassin versant lozérien de la Truyère seront transposables aux autres régions de socle du département.

4. CONTENU ET PHASAGE DES TRAVAUX DE RECHERCHE

Six principales phases de recherche seront mises en oeuvre pour atteindre ces objectifs, en progressant de l'échelle de la connaissance générale du bassin versant vers celle de la caractérisation de détail des sites retenus in fine pour la réalisation des forages de validation.

Les travaux de recherche seront réalisés en étroite concertation avec les acteurs locaux de la politique de l'eau, par l'intermédiaire du comité de pilotage de l'opération, afin que les ouvrages réalisés répondent, outre les objectifs scientifiques, aux besoins en eau identifiés sur le bassin versant.

Les données acquises et élaborées dans le cadre du projet seront archivées au sein d'une base de données associée à un système d'information géographique (SIG) qui permettront à la fois le stockage, le traitement des informations recueillies et la restitution cartographique des résultats des travaux de recherche.

4.1. Identification des différentes formations aquifères - Sélection de secteurs d'investigations de terrain

La **première phase** du projet comprendra une approche géologique et hydrogéologique générale du bassin versant lozérien de la Truyère, complétée par des vérifications de terrain, destinée à établir, à partir d'une analyse multicritères, une *cartographie préliminaire des potentialités en eau souterraine* des différentes formations géologiques (socle, altérites et formations alluviales). Cette analyse permettra de proposer une sélection de secteurs d'investigation dont les plus intéressants (4 zones d'étude au sein du socle, 2 zones au sein des formations alluviales), tant du point de vue de leurs caractéristiques physiques que des besoins en eau, seront retenus, en concertation avec les acteurs locaux, pour y focaliser les travaux de recherche ultérieurs.

- Caractérisation des formations du socle cristallin : substratum rocheux et altérites

- synthèse géologique et structurale du substratum rocheux :

- analyse de la cartographie géologique à 1/50.000, des données de la Banque du Sous-Sol et des rapports d'étude et de travaux déjà réalisés (recherches d'eau souterraine, publications scientifiques, etc.),
- détermination de l'aptitude des différentes formations géologiques du bassin de la Truyère au développement d'une fracturation,
- recueil des informations structurales et des données concernant le champ des contraintes tectoniques actuelles afin de déterminer l'orientation des fractures les plus susceptible d'être l'objet de circulations d'eau souterraine,
- identification et localisation des **linéaments** (indices de fracturation), détermination des principales familles d'orientation par photo-interprétation sur photographies aériennes IGN, confrontation aux informations géologiques et structurales,
- modélisation des **paleosurfaces d'altération** (à partir du Modèle Numérique de Terrain et d'investigations in situ) : détermination de la nature (profil type pour chacune des différentes "roches mères"), de l'extension et de la puissance des altérites à l'échelle du bassin de la Truyère et de leur troncature par érosion,
- vérifications de terrain.

- Caractérisation des formations alluviales :

- **lithologie, extension latérale, épaisseur** des alluvions. Recherche de structures de type " seuil " (remontée du substratum rocheux) à l'amont desquelles il est susceptible d'exister des surépaisseurs de formations alluviales saturées en eau :
 - synthèse bibliographique : cartographie géologique, Banque du Sous - Sol, rapports d'études et de travaux, etc.,
 - analyse morphologique sur carte topographique 1/25.000 et par photo-interprétation sur photographies aériennes IGN,
- **contrôle de terrain** : géologie, morphologie, inventaire des points d'eau existant et des sources potentielles de pollution,
- **classement des différents sites** identifiés pour soumission au comité de pilotage du projet.

- cartographie préliminaire des potentialités en eau souterraine et sélection des secteurs de travaux de terrain

- croisement des différents critères géologiques et hydrogéologiques pour l'établissement d'une **cartographie préliminaire des potentialités en eau souterraine**. Dans le cas de la Lozère où le relief est relativement marqué, l'influence du paramètre "topographie" devra faire l'objet d'une attention particulière. Il conviendra en particulier d'estimer la morphologie de la surface piézométrique de la nappe au sein des altérites, la morphologie du mur des altérites ainsi que leur nature lithologique. Les observations géomorphologiques, géologiques et hydrogéologiques, les analyses et interprétations déduites de la photo-interprétation mais aussi et surtout le travail de modélisation des paleosurfaces d'altération seront fondamentaux à cet égard,
- **sélection de secteurs d'intérêt**, tant au sein des formations de socle (superficie unitaire d'une centaine d'hectares) que des formations alluviales (superficie unitaire de l'ordre d'une dizaine d'hectares),
- présentation de ces résultats aux acteurs locaux (Conseil Général, services techniques, etc.) par l'intermédiaire du comité de pilotage du projet et prise en compte des critères socio-économiques pour la sélection, en concertation, des secteurs au sein desquels seront focalisées les investigations de recherche (4 secteurs différents au sein du socle, deux secteurs au sein des formations alluviales),
- préparation des campagnes de terrain : première adaptation de la méthodologie de prospection aux particularités de la Lozère et des sites sélectionnés, demandes d'autorisation, etc..

4.2. Evaluation de la ressource en eau

Un recensement le plus exhaustif possible des points d'eau du bassin versant lozérien de la Truyère (sources en particulier), accompagné de mesures de débit en période de basses eaux, sera mis en œuvre au cours des deux étiages 1998 et 1999. La première année sera mise à profit pour identifier et jauger les principaux points d'eau ; la

deuxième, pour compléter l'inventaire et procéder à un nouveau jaugeage de points jugés douteux à l'issue du premier inventaire (jaugeages effectués après des précipitations par exemple).

Ce travail sera confié, pendant deux années de suite, à un stagiaire, employé pendant 3 mois par an et pris en charge et encadré par le BRGM.

Les informations recueillies seront replacées dans leur contexte hydrométéorologique afin de disposer d'une évaluation de la ressource en eau disponible à l'échelle du bassin dans son ensemble d'une part et à celle des différents compartiments géologiques (géologie du substratum, nature et épaisseur des altérites, etc.) identifiés d'autre part.

Ce travail comportera les principales tâches suivantes :

- recensement et interprétation des **données hydrologiques** disponibles afin de préparer et d'organiser le travail de terrain : localisation des principaux points d'eau et captages connus (données BRL, DIREN, DDASS, DAF, interrogation des services communaux, banque du Sous-Sol, analyse des cartes topographiques, etc.), recueil et analyse des mesures ponctuelles de débit (DIREN en particulier), des chroniques hydrométriques disponibles sur la Truyère, etc.,
- travaux de terrain :
 - établissement d'une fiche pour chacun des points d'eau identifiés, sur le modèle de la Banque de Données "Eau" du BRGM : localisation géographique, contexte géologique, morphologique, hydrogéologique, occupation du sol sur le bassin versant proche et éloigné, etc., modalités éventuelles de captage, exploitant éventuel, etc.,
 - jaugeage en période d'étiage (mi juillet - mi septembre) et mesure des paramètres physico-chimiques de terrain (température, conductivité électrique, pH),
- intégration des données recueillies au sein de la Banque de données "Eau" et du SIG développé dans le cadre du projet,
- synthèse et interprétation des données, une fois replacées dans leur contexte hydro-météorologique (pluviométrie, débit aux stations hydrométriques du bassin).

4.3. Mise au point d'une méthodologie de prospection hydrogéologique des formations du socle cristallin. Forages de reconnaissance

La **méthodologie de prospection hydrogéologique des formations de socle** qu'il est proposé d'adapter au contexte de la Lozère est largement inspirée des travaux de recherche scientifique en cours au BRGM (Guyane, Afrique sahélienne, Bretagne). Elle repose sur l'utilisation des méthodes émanométriques (dosages des gaz du sol et en particulier du radon) pour la localisation des zones fracturées du substratum. Elle comprend, dans l'état actuel d'avancement de nos travaux de recherche, trois principales phases d'investigations, articulées selon la chronologie suivante :

1. Délimitation de secteurs d'intérêt, d'une superficie respective d'une centaine d'hectares, au moyen d'un travail mené pour l'essentiel au moyen de documents, sur des critères d'ordre géologique, hydrogéologique, linéamentaire (fracturation identifiée sur photographies aériennes ou satellite) et technico - économique. Ces investigations préliminaires seront réalisées dans le cadre de la première phase du projet (§ 2.3.2.1.).

2. Mise en oeuvre de la prospection émanométrique radon de manière systématique sur les secteurs retenus afin de localiser et de caractériser, de façon exhaustive, les anomalies émanométriques. Cette première phase de prospection de terrain est mise à profit pour acquérir des **informations d'ordre géologique, morphologique et hydrogéologique de terrain** et compléter et valider ainsi, à l'échelle de ces secteurs d'intérêt, l'approche documentaire :

- reconnaissance géologique : vérification de l'aptitude des roches au développement de la fracturation, compléments, à l'échelle du terrain, sur la nature et la géométrie des altérites,
- analyse structurale : mesures de la fracturation sur le terrain, vérification de la cohérence avec les données de photo-interprétation et le cadre des contraintes tectoniques,
- localisation et caractérisation du contexte d'émergence des sources, de leurs débit et composition chimique : identification des aquifères, estimation de la morphologie de la surface piézométrique.

3. Campagne de prospection géophysique par sondages et traînés électriques, au droit des anomalies émanométriques, afin de :

- confirmer et préciser leur structure de détail pour implanter les sondages de reconnaissance à quelques mètres près. En présence d'un recouvrement alluvial ou sédimentaire masquant le signal radon et dans le cas où les prélèvements de gaz du sol ne sont localement pas possibles (bas fonds marécageux), la géophysique permettra de suivre sous le recouvrement les structures émanométriques détectées en coteau,
- définir la coupe géologique prévisionnelle des sondages de reconnaissance.

Les résultats des campagnes de prospection et de forage réalisées au sein d'autres massifs cristallins seront pris en considération afin d'enrichir la méthodologie proposée, principalement dans le sens du croisement des prospections émanométriques avec d'autres méthodes géophysiques (VLF par exemple) : travaux réalisés en Corrèze au cours des années 1980 en particulier, en Bretagne, etc..

Ces travaux seront mis en œuvre sur chacun des quatre secteurs d'intérêt sélectionnés. Ils conduiront à la sélection, en concertation avec les acteurs locaux et dans le cadre du comité de pilotage du projet, des sites de sondages de reconnaissance. Le budget "forage" prévu permettra de reconnaître **2 ou 3 sites différents** sur lesquels seront réalisés un total de **8 à 10 sondages de reconnaissance hydrogéologique** d'une profondeur prévisionnelle inférieure ou égale à 100 m.

Le BRGM élaborera un **cahier des charges** pour les entreprises de forage (CCTP) qui sera remis à la collectivité pour la rédaction de l'appel d'offres des travaux de forage.

Le **suivi géologique et hydrogéologique** des sondages de reconnaissance permettra :

- l'établissement des coupes géologiques,
- la localisation des venues d'eau, l'évaluation de leur débit et la caractérisation de leur qualité physico-chimique,
- la réalisation d'essais d'eau à l'avancement.

Il sera suivi de mesures de caractérisation des propriétés des formations aquifères recoupées : **pompages d'essai**, diagraphies de fluides, etc. permettant entre autres la définition des modalités techniques d'équipement et de mise en production des sondages : conception et complétion des ouvrages d'exploitation, débits exploitables, etc.. Les ouvrages de reconnaissance positifs pourront ainsi être transformés en forages d'exploitation par l'entreprise de forage, à la demande de la collectivité et sur avenant à l'appel d'offres.

4.4. Reconnaissance des formations alluviales. Evaluation de la ressource exploitable

La ressource en eau souterraine exploitable sur chacun des deux sites retenus dans un contexte de formations alluviales sera évaluée en utilisant la démarche suivante :

- réalisation de sondages à la tarière sur camion (diamètre 400 mm, profondeur maximale 20 m, arrêt au refus sur le substratum cristallin) : définition de la **nature géologique et de la géométrie des formations alluviales** (extension latérale, épaisseur), prélèvement d'échantillons pour analyse granulométrique afin de pouvoir ultérieurement définir les dispositifs de captage les mieux adaptés au contexte et dimensionner l'ouverture des crépines et la granulométrie des massifs de gravier des forages d'exploitation. Le budget prévisionnel est établi sur la base de la réalisation d'une douzaine de sondages sur chacun des deux sites retenus,
- équipement des sondages les plus intéressants (alluvions les moins argileuses et les plus épaisses) au moyen de tubes PVC crépinés à la scie afin de pouvoir y mettre en oeuvre :
 - des pompages d'essai (par paliers de débit et à débit constant avec suivi sur des piézomètres disposés autour du puits de pompage) destinés à définir les **paramètres hydrodynamiques** des alluvions (perméabilité, coefficient d'emménagement). Les conditions de l'établissement d'un régime permanent en relation avec la rivière seront examinées,
 - une cartographie de la **piézométrie** de la nappe qui rende compte de la hauteur mouillée des alluvions, de la direction des écoulements souterrains et des conditions d'alimentation ou de drainage de la nappe alluviale par les eaux de surface, notamment en basse eaux. A cet effet, les sondages ainsi que des repères en rivière feront l'objet d'un nivellement relatif. Un jaugeage en basses eaux sera réalisé sur le cours d'eau,

- le prélèvement d'échantillons d'eau pour analyse chimique.
Les diamètres des tubages seront suffisants pour pouvoir effectuer des pompages d'essai avec des pompes de surface, ou mieux, avec des pompes électriques immergées de 4" ou de 6" suivant les gammes de débit escomptées.
- modélisation mathématique de l'aquifère alluvial : **les débits potentiellement exploitables** en période de basses eaux sur chacun des deux sites et pour différentes hypothèses du niveau d'eau au sein du cours d'eau seront évalués au moyen d'un modèle mathématique de simulation hydrogéologique. Ce travail permettra également d'évaluer l'impact de l'exploitation sur les débits du cours d'eau et la vulnérabilité des forages projetés.

4.5. Validation et synthèse. Cartographie des potentialités en eau souterraine

La **cinquième phase du projet** consistera à exploiter l'ensemble des données recueillies afin de produire d'une part des documents appliqués, directement opérationnels, traduisant la connaissance hydrogéologique du bassin versant lozérien de la Truyère (cartographies de la ressource en eau souterraine exploitable, des potentialités des différentes formations géologiques, etc.) et d'autre part des documents méthodologiques (méthodologie de prospection hydrogéologique des formations du socle lozérien).

Elle comprendra :

- l'analyse et la synthèse des résultats obtenus : validation et/ou adaptation de la méthodologie mise en oeuvre, élaboration d'un guide méthodologique à l'attention de la collectivité et des bureaux d'étude,
- des recommandations pour la mise en exploitation des forages positifs des deux sites expérimentaux et la valorisation de la ressource en eau souterraine du bassin de la Truyère, établissement d'une cartographie des potentialités en eau souterraine à l'échelle du bassin,
- la rédaction et la communication des rapports, documents cartographiques et informatiques.

4.6. Bilan et perspectives

L'objectif de la **sixième partie du projet** sera de procéder à une synthèse en terme d'adéquation ressource / besoins, à l'échelle des différentes unités de distribution d'eau potable du bassin versant lozérien de la Truyère. Les besoins seront évalués pour l'actuel et en prospective à moyenne échéance (horizon 2010), tant en terme de sécurisation quantitative de la desserte, que qualitative, en intégrant en particulier les perspectives de l'impact des évolutions réglementaires sur la disponibilité de la ressource.

Ce travail sera mis en oeuvre en deux phases successives.

La **première phase** sera destinée à apporter les éléments d'information nécessaires au comité de pilotage du projet pour orienter le choix des sites d'implantation des forages

expérimentaux prévus dans le cadre de l'opération vers les secteurs présentant les besoins les plus aigus à court terme. Elle devra donc être menée au cours de la première année de réalisation du projet (1998). Elle comprendra essentiellement une analyse critique et une synthèse des données disponibles (travaux BRL, Direction de l'Agriculture et de la Forêt, etc.) en terme d'adéquation ressource / besoins (besoins actuels et leur évolution à moyen terme, à l'échéance 2010). Elle permettra également d'orienter la mise en place de dispositifs de mesure (compteurs volumétriques) complémentaires à ceux déjà mis en œuvre dès le début de 1998, en parallèle au projet de recherche.

Le principal objectif de la *deuxième phase* sera d'intégrer les résultats de l'étude hydrogéologique en terme de zonage des potentialités en eau souterraine afin d'établir des propositions pour l'élaboration d'un schéma directeur d'alimentation en eau prenant en considération les besoins et les différentes ressources : ressource en eau de surface, ressource en eau souterraine, ressources complémentaires pouvant éventuellement être dégagées par des mesures d'économie ou de réduction des pertes, etc.. Ce travail intégrera en particulier une évaluation de l'impact des évolutions réglementaires sur la disponibilité de la ressource.

Cette partie du projet sera confiée à un consultant expérimenté en mesure, de par son expertise, de palier le manque de données quantitatives.



1. Déroulement de la première phase du projet

A la suite de la signature de la convention entre le Conseil Général de la Lozère et le BRGM (20/02/98), le premier comité de pilotage technique du projet (25/03/98), regroupant l'Agence de l'Eau Adour Garonne, le Conseil Général de la Lozère, la Direction de l'Agriculture et de la Forêt et le BRGM, a permis de confirmer (Annexe 1) :

1) les objectifs :

- l'identification, sur le bassin versant Lozérien de la Truyère, de sites favorables à la prospection de ressources en eau souterraine au sein (i) du socle et (ii) des formations alluviales,
- le principe du choix d'un consultant pour la réalisation du volet « Bilan et Prospectives » et réalisation de ce travail afin de déterminer, sur le bassin versant lozérien de la Truyère, (i) les secteurs de « tension », par comparaison de la ressource disponible et des besoins en eau et (ii) les points prioritaires pour l'installation de dispositifs de comptage,

2) les délais de réalisation : présentation des résultats de fin de première phase lors du deuxième comité de pilotage du projet, fixé au 23 juillet 1998, de la **première phase du projet de recherche.**

Le comité de pilotage du 23/07/98 a été réalisé sous la forme de deux réunions successives (comité de pilotage technique puis comité de pilotage élargi aux élus et présidents des syndicats A.E.P. de la zone d'étude) qui ont permis de présenter les résultats de la première phase du projet (Annexe 1) :

- (1) volet « Bilan et Prospectives » du projet, réalisé par la Société du Canal de Provence, entreprise retenue à l'issue d'un appel à propositions et de plusieurs réunions de cadrage,
- (2) cartographie préliminaire des potentialités en eau souterraine établie par le BRGM.

Deux notes techniques, remises lors du comité de pilotage, synthétisaient l'état d'avancement de chacun de ces volets du projet de recherche, à l'issue de cette première phase (Annexe 2).

Le comité de pilotage a été suivi par deux réunions techniques (Annexe 1), les 30 juillet et 4 septembre 1998, qui ont permis respectivement, de valider les secteurs prioritaires en terme de prospection des alluvions et du socle puis de réviser ce choix et de le préciser en terme de zones de prospection. Les 4 sites retenus (cf. § 3.) ont ensuite été

définis en concertation entre les membres du comité de pilotage. Ils font actuellement l'objet d'une procédure d'information et de demande d'autorisations d'accès auprès des élus et propriétaires concernés.

Les résultats de la démarche mise en œuvre par le BRGM dans le cadre de cette première phase du projet font l'objet du présent document.

2. Principaux résultats obtenus

2.1. TRAVAUX RÉALISÉS PAR LA SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE

Les résultats de la première phase du volet « Bilan et perspectives » du projet font l'objet d'une présentation sous forme d'un rapport séparé remis par la SCP.

L'ensemble des travaux présentés ci-après ont été réalisés dans le cadre de l'étude BRGM.

2.2. ÉTABLISSEMENT D'UNE CARTOGRAPHIE PRÉLIMINAIRE DES POTENTIALITÉS EN EAU SOUTERRAINE DU SOCLE

Une *sélection de sites et une proposition de classement*, par ordre d'intérêt du point de vue de leurs potentialités hydrogéologiques, constituent l'aboutissement des travaux mis en œuvre dans le cadre de la première phase du projet (Figure 13). Cette sélection a été déduite de *cartes des potentialités en eau souterraine du socle* établies à l'échelle du bassin versant lozérien de la Truyère (Figures 10 et 11). Cette cartographie est considérée comme préliminaire à l'échelle du projet dans la mesure où les résultats qui seront acquis lors de ses phases ultérieures permettront de vérifier cette approche et le cas échéant de la valider ou de l'améliorer.

Les modalités d'élaboration de ces cartes et leur analyse sont présentées ci-dessous.

Les **cartes des potentialités** ont été construites par analyse multicritères de données concernant la structure des deux principaux compartiments qui constituent l'aquifère : les altérites et le substratum fracturé. Elles s'appuient donc sur une approche fonctionnelle du système hydrogéologique, basée sur le modèle conceptuel présenté plus haut (§ 1.1.).

Ces données ont été acquises par une équipe pluridisciplinaire dont les principaux acteurs sont cités ci-après.

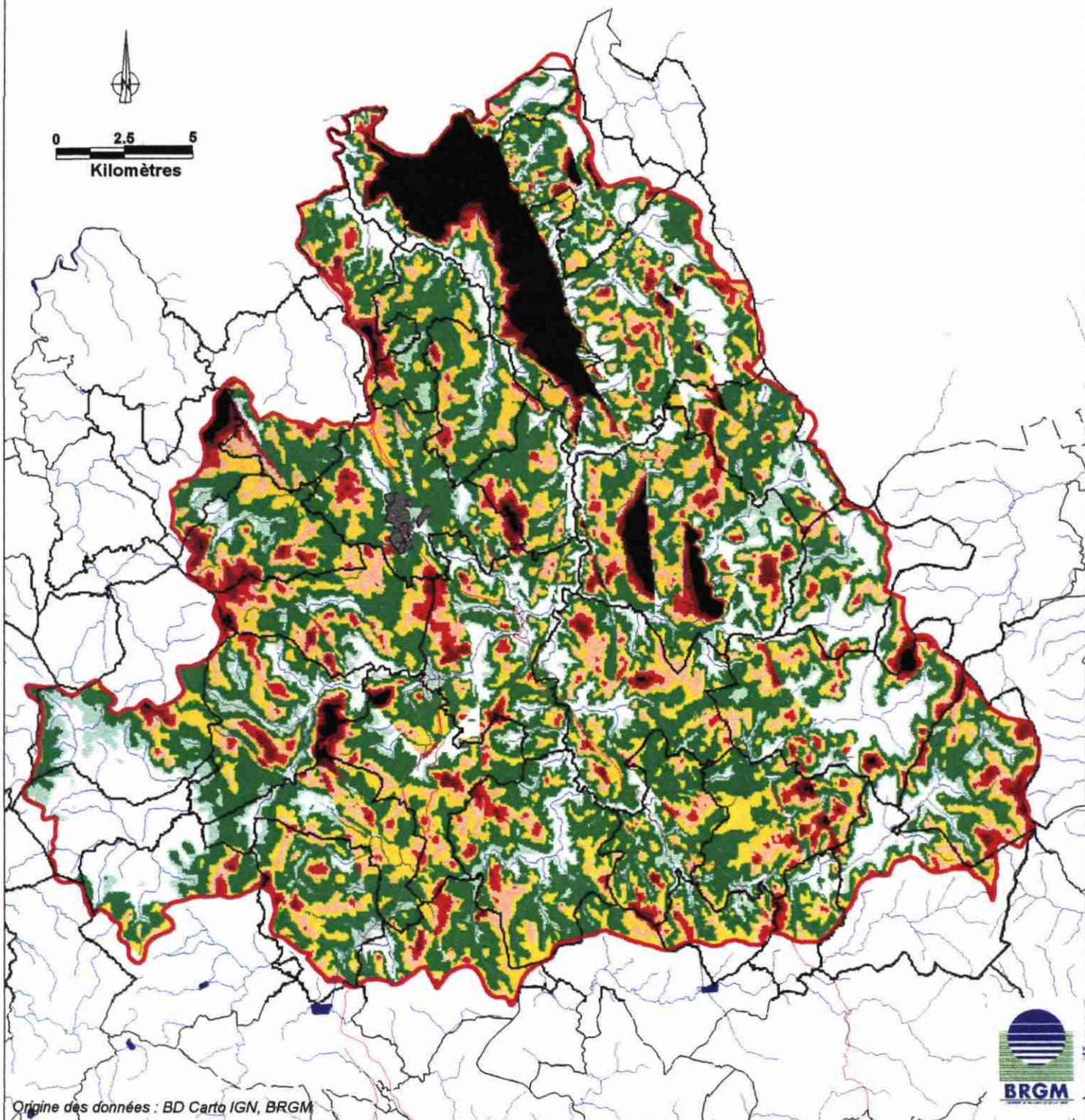
Figure 2

Bassin versant lozérien de la Truyère Epaisseur de la zone fissurée et des altérites

-  altérites > 50 m (sédiments tertiaires)
-  altérites 30 à 50 m
-  altérites 20 à 30 m
-  altérites 10 à 20 m
-  altérites 0 à 10 m
-  zone fissurée 15 à 40 m
-  zone fissurée 0 à 15 m
-  absence d'altérites et de zone fissurée



0 2.5 5
Kilomètres



2.2.1. Données utilisées

2.2.1.1. Altérites

Les altérites constituent la partie capacitive du système aquifère, qui assure la fonction de stockage des eaux souterraines et leur renouvellement par l'infiltration des pluies efficaces. La connaissance de leur nature et de leur géométrie (épaisseur et répartition spatiale) est donc de premier intérêt pour la définition des potentialités en eau souterraine à l'échelle du bassin versant.

Les travaux ont consisté à déterminer (Figure 2) l'*épaisseur résiduelle des altérites* et celle de la frange superficielle du substratum rocheux, dite « fissurée-altérée », par modélisation des paléosurfaces d'altération (R. WYNS, rapport R40191 joint en Annexe). Les altérites proprement dites constituent la partie la plus capacitive du système. Leur porosité efficace peut dépasser les 5% dans le cas de formations grossières telles que le granite de la Margeride. La zone fissurée sous-jacente présente de moindres propriétés de stockage (de l'ordre de grandeur d'1% et diminuant avec la profondeur) mais qui restent tout de même significatives.

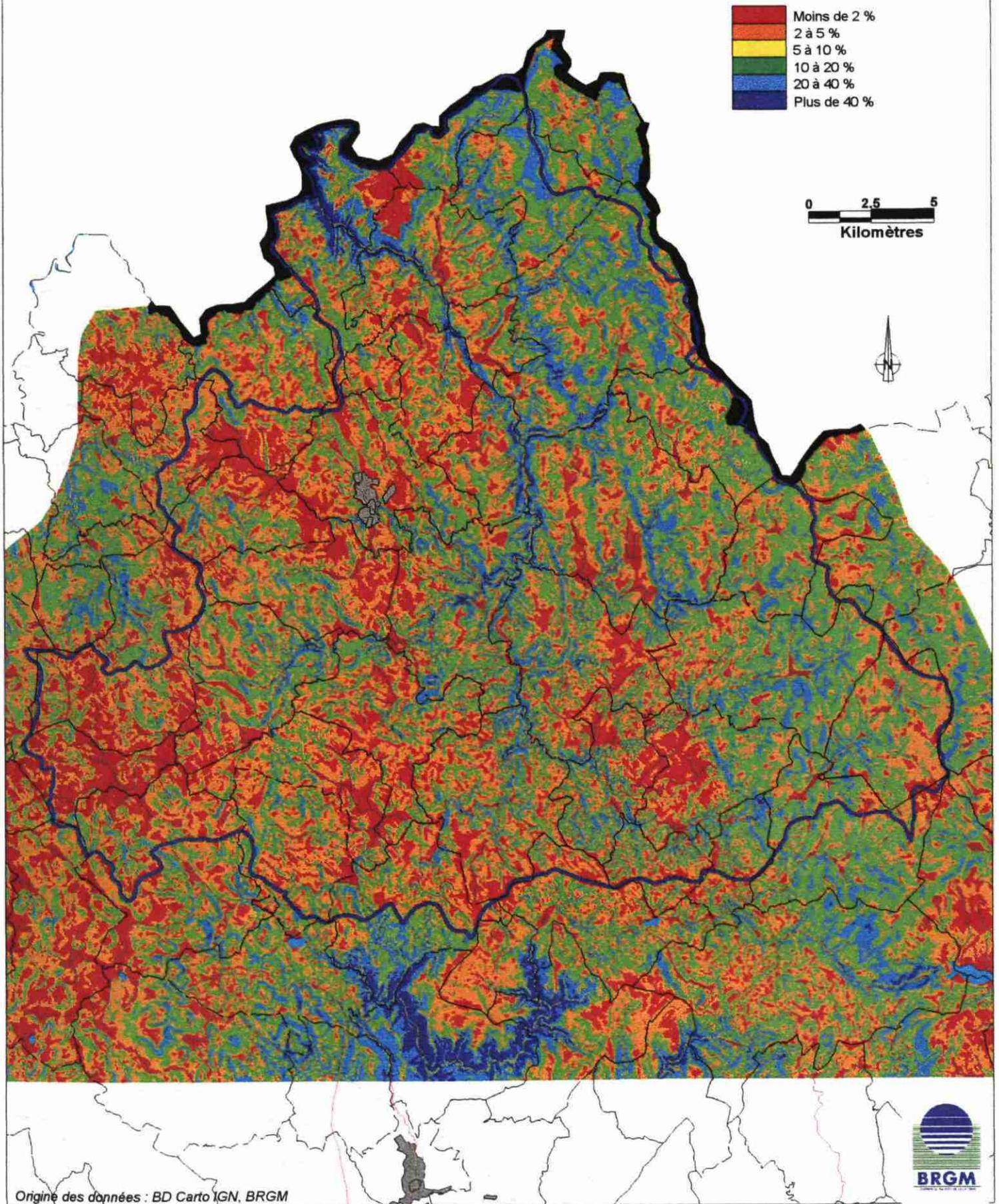
Sur le bassin versant de la Truyère, les altérites se sont formées il y a environ 40 millions d'années (Eocène), par altération climatique des roches en place. Les observations de terrain montrent que l'épaisseur de la frange superficielle altérée était alors de l'ordre d'une cinquantaine de mètres. La zone « fissurée altérée » présente quant à elle une épaisseur estimée à 30 à 40 m.

L'histoire tectonique ultérieure de la région est marquée par le développement de bassins de type « graben ». Le compartimentage et les jeux des failles associées (jeux relatifs entre compartiments, mouvements de basculement, etc.) ont conditionné l'importance et la répartition spatiale de l'ablation des altérites par l'érosion. Les épaisseurs maximales d'altérites sont ainsi observées au droit des bassins sédimentaires tertiaires², ainsi que dans les parties « effondrées » des compartiments. Dans les vallées les plus profondément entaillées (cours aval de la Truyère, certains tronçons de son cours moyen et de celui de ses principaux affluents) ainsi que sur les sommets rabotés par l'érosion glaciaire (Margeride, et surtout Aubrac), les altérites et la zone fissurée du substratum ont été totalement érodées. Les observations de terrain complémentaires, qui seront réalisées dans le cadre des phases ultérieures du projet, permettront de préciser cette cartographie à l'échelle des sites de prospection retenus.

² Dans la mesure où le remplissage sédimentaire des bassins tertiaires (constitué d'altérites remaniées par l'érosion) présente une lithologie similaire à celle des altérites, l'épaisseur des sédiments a été intégrée à celle des altérites.

Figure 3

Bassin versant lozérien de la Truyère
Carte des pentes



Les investigations de terrain (recensement des sources en particulier) montrent que le niveau piézométrique des eaux souterraines est en règle générale très proche de la surface du sol. La cartographie de l'épaisseur des altérites et de la zone fissurée-altérée est donc représentative du stock d'eau disponible au sein du sous-sol.

Par ailleurs, la *carte des pentes* (Figure 3), construite à partir du modèle numérique de terrain de l'IGN (J.F. DESPRATS) a été utilisée pour l'analyse multicritères. Les zones de faible déclivité sont en effet les plus favorables pour l'implantation de forages d'eau. Dans ou à proximité des zones de forte pente, le drainage par l'aval est susceptible de provoquer un abaissement de la surface piézométrique de la nappe qui pourrait engendrer des difficultés en terme de rendement des forages.

Ce critère « pente » intègre donc implicitement le facteur « épaisseur mouillée des altérites » dans la mesure où celle-ci est plus importante dans les zones à faible déclivité que dans les secteurs à forte pente.

2.2.1.2. Substratum

a) Carte géologique synthétique

Une *carte géologique synthétique* du substratum (Figure 4) a été établie (P. LE STRAT, rapports R40222 et R40223 joints en annexe) à partir de la cartographie géologique à 1/50.000 existante. Les granites porphyroïdes (granites à gros grain) dominent sur le bassin versant lozérien de la Truyère. Ils sont intrudés par de petits massifs de leucogranite. L'encaissant métamorphique du granite de la Margeride n'affleure que très localement dans la partie nord-est des communes de Julianges et de Saint Privat du Fau.

b) Synthèse des données hydrogéologiques

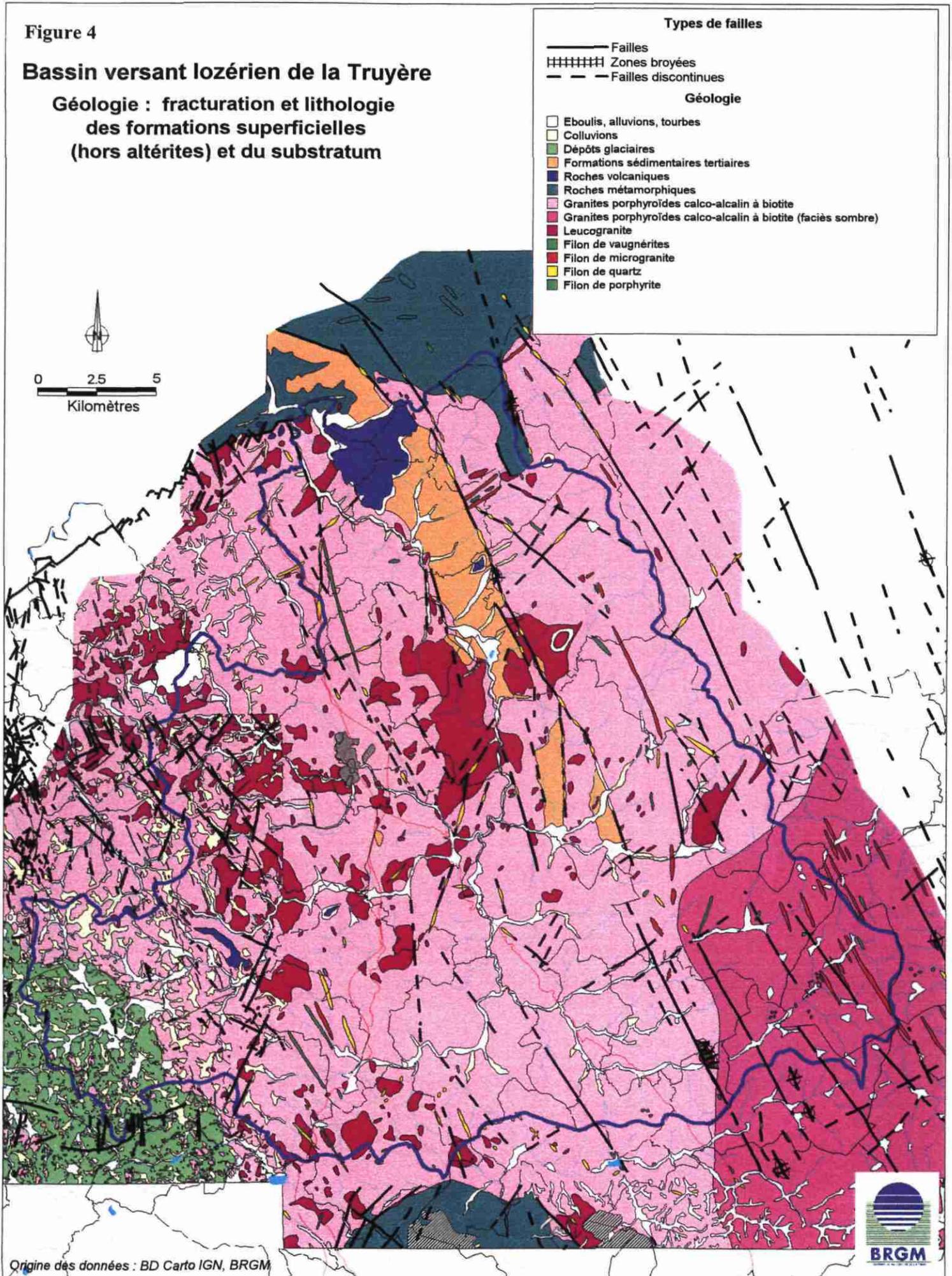
Une synthèse des données hydrogéologiques existantes et concernant les formations de socle (études antérieures, résultats de forages réalisés en Lozère et dans les départements voisins) a été réalisée (P. BERARD - Annexe 3).

D'une manière générale, à l'échelle de la Lozère et compte tenu des méthodes d'implantation des forages mises en œuvre lors des travaux antérieurs (photo-interprétation uniquement), les sondages réalisés au sein de roches métamorphiques (gneiss, micaschistes) semblent montrer des débits plus élevés (moyenne 8,9 m³/h au soufflage sur 10 ouvrages, 50 % d'ouvrages présentant un débit supérieur à 5 m³/h) que ceux obtenus au sein des granites (moyenne 2,9 m³/h au soufflage sur 36 ouvrages, 17 % d'ouvrages présentant un débit supérieur à 5 m³/h). Au sein de ces derniers néanmoins, plusieurs forages d'exploitation procurent des débits supérieurs à 5 m³/h sur le bassin versant de la Truyère (Albaret Sainte Marie - La Garde - 8 m³/h et 5,5 m³/h. Rieutord de Randon - Coulagnes - 5 m³/h). Il semble donc envisageable, au moyen de méthodes appropriées, de capter des débits significatifs au sein du granite de la Margeride d'un ordre de grandeur similaire (supérieur à 5 m³/h) à ceux qui sont captées dans le même type de formations dans d'autres régions du monde.

Figure 4

Bassin versant lozérien de la Truyère

Géologie : fracturation et lithologie
des formations superficielles
(hors altérites) et du substratum



Les massifs de leucogranites sont généralement caractérisés par une plus faible couverture altéritique. Pour cette raison, ces derniers sont considérés a priori comme relativement moins favorables que les granites porphyroïdes.

Des analyses statistiques réalisées sur une série de 190 forages d'eau réalisés par la DAF de Corrèze, suffisamment documentés (DELBOS, 1986 et 1988 ; CARLIER et POINTET, 1991), présentent des résultats similaires à ceux présentés ci-dessus. Les structures filoniennes sont les plus favorables à l'obtention de débits importants (37 % des forages présentent ainsi plus de 10 m³/h au soufflage, avec un nombre significatif d'ouvrages - 12% - supérieurs à 20 m³/h). Les granites et les gneiss montrent tous deux des résultats proches (20% des ouvrages à plus de 10 m³/h ; 30% à plus de 5 m³/h). La majorité des ouvrages les plus productifs (> 10 m³/h) captent le substratum fracturé et, indirectement, sa couverture altéritique lorsqu'elle est présente (seuls 5 forages sur 22 voient leur productivité associée uniquement aux altérites). D'un point de vue morphologique, les points bas topographiques semblent a priori les plus favorables, sans pour autant qu'une implantation en tête de vallon soit rédhibitoire. Par ailleurs, les débits obtenus augmentent significativement avec la profondeur et d'autant plus si la profondeur atteinte est supérieure à 50 m. Les forages les plus profonds³ ont ainsi tendance à fournir des débits instantanés les plus élevés, même s'il existe des forages profonds secs. Les principales venues d'eau sont identifiées entre 5 et 25 m de profondeur, ce qui peut correspondre à l'horizon fissuré-altéré (cf. 3.2.1.). Le socle sain fracturé constitue une deuxième zone productrice, avec des venues d'eau au delà de 40 m de profondeur.

c) *Analyse et hiérarchisation de la fracturation*

Une première étape consiste à identifier la géométrie du réseau de fractures. Dans la mesure où le substratum rocheux est presque intégralement masqué par des formations superficielles, cette description est réalisée au moyen de méthodes indirectes, en localisant des linéaments. Ceux-ci sont des objets linéaires qui résultent de l'effet de la fracturation sur la topographie (escarpements, vallées relativement rectilignes, etc.) mais aussi de son impact sur la couverture végétale (alignements d'arbres plus grands ou différents dans une forêt, différences de teintes dans un champ, etc.).

Sur le bassin versant lozérien de la Truyère, les linéaments ont été identifiés essentiellement par photo-interprétation sur photographies aériennes de l'IGN (échelle approximative 1/50.000) ainsi que par analyse morphologique sur la cartographie 1/25.000 et le modèle numérique de terrain (Th. BRUEL, rapport joint en Annexe). La plupart des linéaments (Figure 5) sont indiqués en pointillés (tracés incertains ou masqués). Seuls ceux dont les effets sur la morphologie sont incontestables ont été marqués en trait plein. La précision de leur positionnement est évaluée à 70 m environ (erreur d'interprétation évaluée à moins de 50 m et celle liée au report de la photo sur le calque inférieure à 20 m).

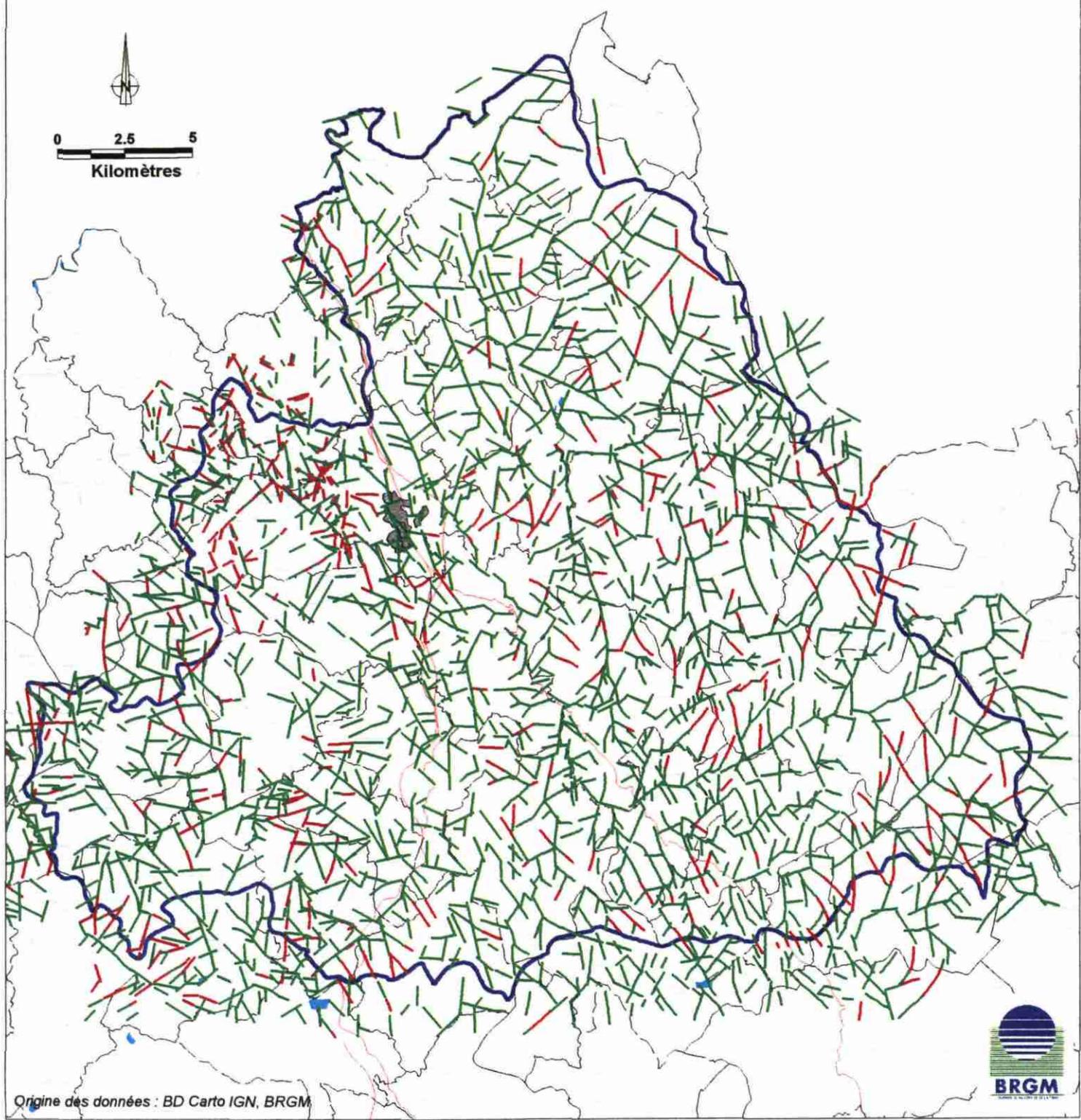
³ Les forages réalisés en Corrèze ne dépassent cependant pas 120 m de profondeur. De nombreux travaux de par le monde ont effet montré que le débit des venues d'eau au sein des forages décroît généralement avec la profondeur.

Figure 5

**Bassin versant lozérien de la Truyère
Fracturation : linéaments identifiés
sur photographies aériennes IGN**

Types de linéaments

- Tracés certains
- Tracés supposés ou masqués



Cette analyse montre l'existence de trois directions majeures dont la distribution et l'agencement sont constants à l'échelle de la zone étudiée :

- Nord - Sud (N170°E à N10°E⁴),
 - Nord-Ouest - Sud-Est, en deux sous-groupes : N125°E ±5° et N145°E ±5°,
 - Nord-Est - Sud-Ouest : N30°E ±10° et N55°E ±5°,
- ainsi que quelques directions Est-Ouest.

La quasi totalité des linéaments issus de l'étude du MNT ainsi que les failles des cartes géologiques sont confirmés par la photo-interprétation.

Les linéaments les plus continus sont les NW-SE et présentent des ondulations de petite amplitude. Les linéaments NE-SW sont plus petits et rectilignes et butent souvent sur les précédents.

La validité et la qualité des informations recueillies dans le cadre de cette approche ont été vérifiées au moyen de mesures de terrain, destinées également à déterminer la nature des fractures (grandes diaclases, types de failles, etc.) ainsi que les relations entre les différentes familles directionnelles de failles.

Le passage à cette échelle d'observation s'accompagne logiquement d'un saut d'échelle considérable, ce qui apparaît comme un linéament simple sur photographie pouvant s'avérer être, sur le terrain, un cortège de fractures. Chaque faille n'est ainsi pas formée d'un plan simple et continu, mais d'un cortège de failles (zone faillée de largeur plurimétrique à pluridécamétrique).

Ces travaux montrent la très bonne concordance entre les orientations des familles de linéaments et celles des fractures observées sur affleurements. Les directions majeures de failles sont :

- Nord-Ouest - Sud-Est, en deux sous-groupes : N130°E et N150°E.
- Nord - Sud (N170°E à N10°E),
- Nord-Est - Sud-Ouest, en deux familles : N30°E et N50°E.

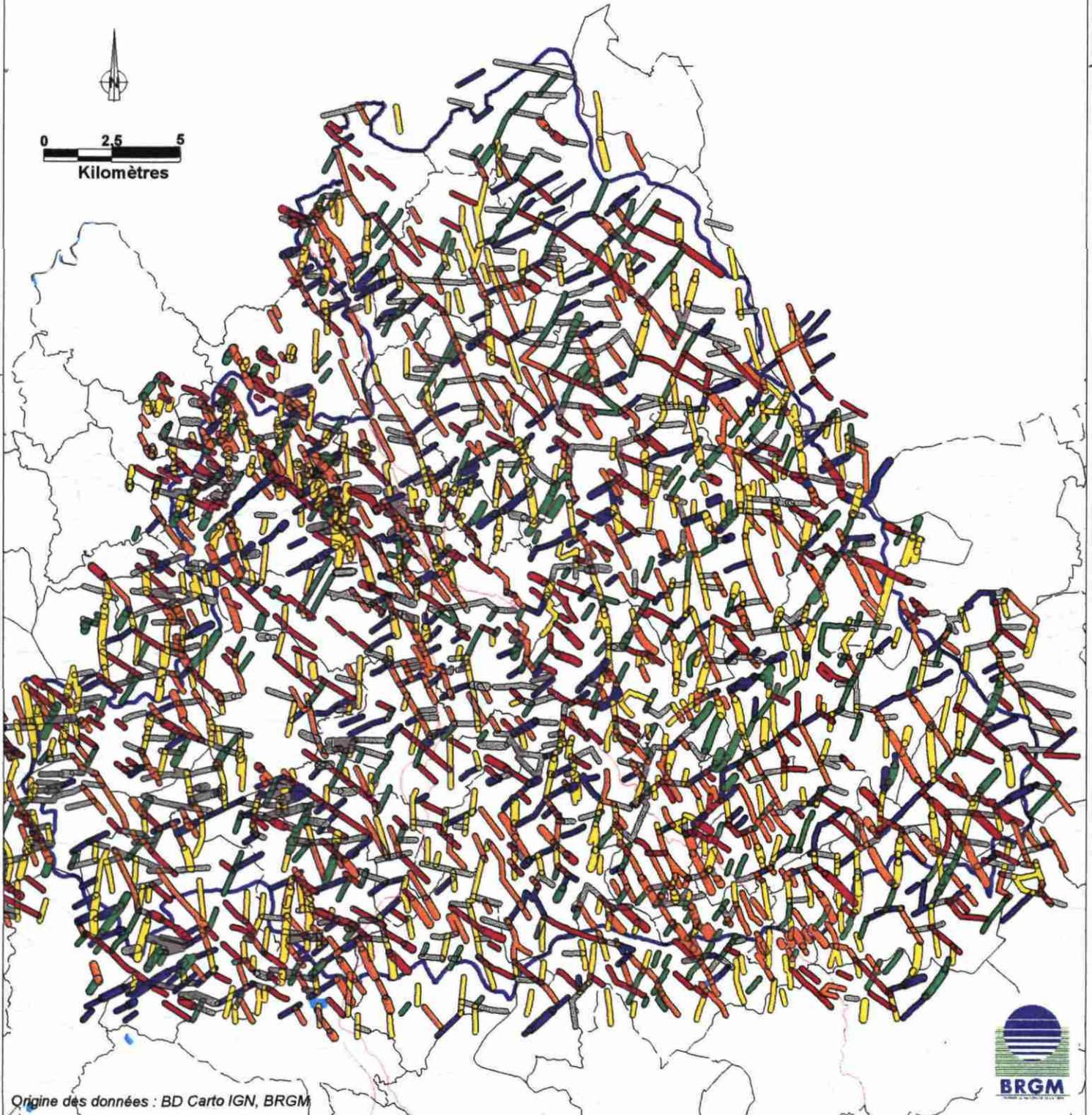
Les fractures NO-SE et subméridiennes portent des stries subhorizontales (décrochements). Leurs pendages, assez redressés sont fréquemment orientés vers l'Ouest. Elles montrent localement des ouvertures et semblent souvent associées à des sources ou des zones humides situées en continuité immédiate de leur localisation. Les fractures NE-SW sont décalées par les autres directions (décrochement sénestre par les N-S, dextre par les NO-SE).

⁴ Les directions sont comptées à partir du Nord, en degrés et dans le sens des aiguilles d'une montre (vers l'Est).

Figure 6

Bassin versant lozérien de la Truyère
Hierarchisation des éléments structuraux en fonction
des contraintes tectoniques actuelles

- Orientation**
- 112.5 < ori. <= 137.5 (plus favorable)
 - 137.5 < ori. <= 162.5
 - 162.5 < ori. et ori <= 17.5
 - 17.5 < ori. <= 42.5
 - 42.5 < ori. <= 70
 - 70 < ori. <= 112.5 (moins favorable)



Les linéaments constituent donc, dans le cas de la Lozère, une bonne expression de la fracturation d'origine tectonique.

L'intérêt des différentes familles de fractures a ensuite été hiérarchisé en fonction de leur orientation par rapport aux contraintes tectoniques actuelles. A l'échelle régionale, la direction de contrainte maximale horizontale est comprise entre N140°E et N170°E (N150°E à Chassoles, N140°E à Privas et N170°E à Balazuc). En dehors de perturbations locales des contraintes, les fractures de direction semblable doivent par conséquent subir une simple dilatation. Les fractures d'orientation perpendiculaire doivent subir un serrage et les fractures obliques, un cisaillement (en fermeture ou ouverture suivant leurs orientations).

La prise en compte d'une contrainte principale N140 à N150°E conduit à la hiérarchisation suivante, de la famille de fractures la plus favorable à celle qui l'est le moins (Figure 6) :

- N125°E, légèrement obliques par rapport à l'axe de la contrainte principale, ce qui autorise conjointement dilatance et mouvement relatif des deux lèvres (en décrochement),
- N150°E,
- N000°E
- N30°E,
- N55°E.

La prise en compte d'une orientation N150 à N170°E (en éliminant la mesure de Privas qui peut présenter un caractère trop superficiel - BLES J.L., *Com. pers.*) modifie légèrement cette hiérarchisation :

- N000°E et N150°E,
- N125°E,
- N30°E,
- N55°E.

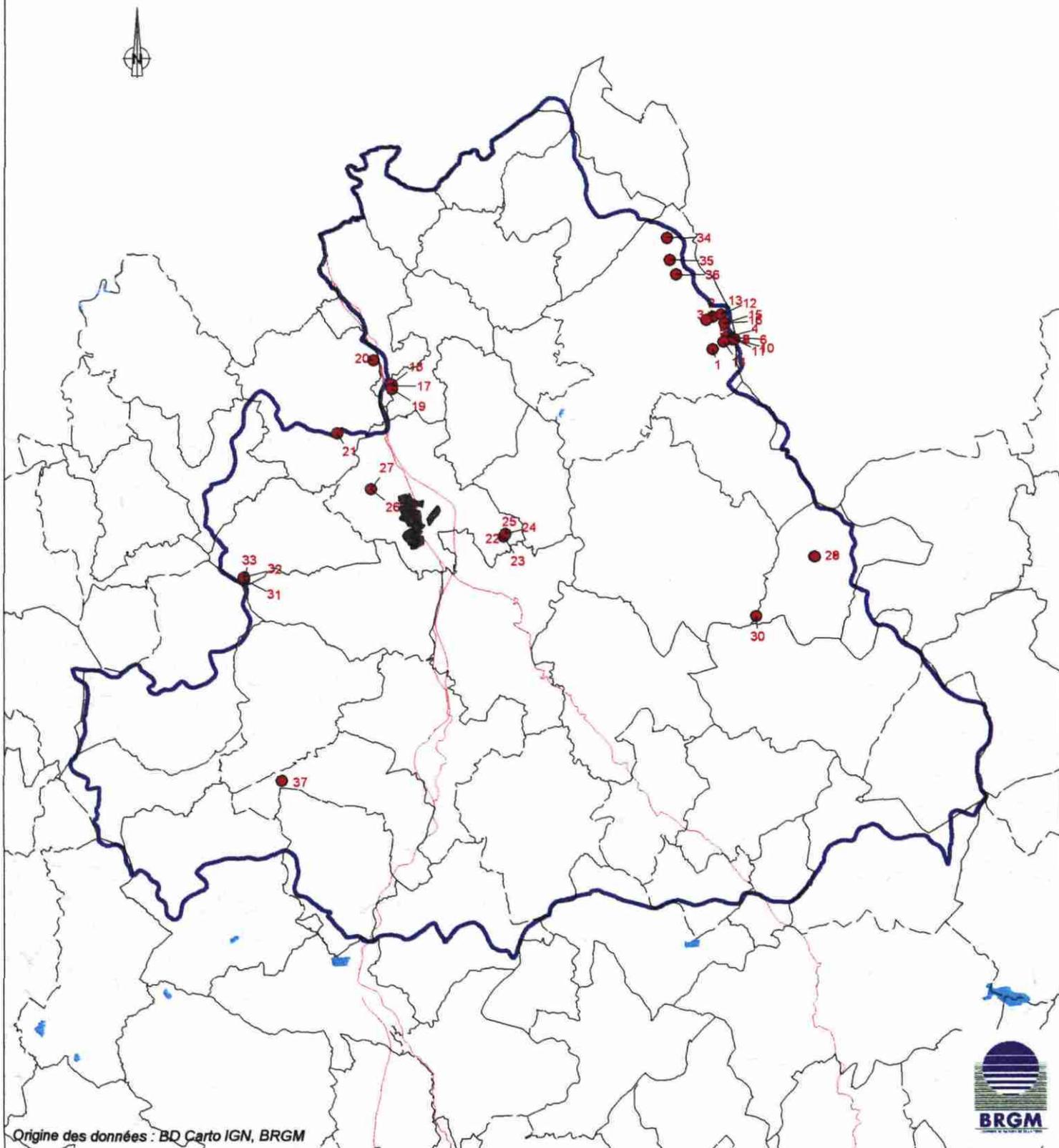
Il convient néanmoins de conserver en mémoire que le relief a une influence importante sur l'orientation des contraintes. BURLET (1991) et CORNET et BURLET (1992) ont ainsi démontré que la déviation des contraintes horizontales peut se produire jusqu'à des profondeurs 5 à 10 fois supérieures à la hauteur des crêtes ou à la profondeur des vallées voisines des forages dans lesquels sont effectuées les mesures de contraintes.

2.2.1.3. Qualité prévisionnelle des eaux souterraines

Les normes-guides dans les eaux destinées à la consommation humaine, en particulier pour les métaux lourds, vont évoluer lors de la transposition des directives européennes. A cet effet, et en vue d'un appui au contrôle sanitaire, des études ont été menées, à la demande du Ministère de la Santé, sur le thème des liens éventuels entre le contenu en métaux des eaux souterraines distribuées, l'environnement géologique naturel, et sa richesse en métaux lourds (rapports BRGM R38398 et R39544).

Figure 7

Bassin versant lozérien de la Truyère
Qualité prévisionnelle des eaux souterraines
Localisation des sites de prélèvement
des analyses chimiques d'eau disponibles



Les résultats obtenus montrent que certaines données géochimiques recueillies dans le cadre de l'inventaire minier national peuvent se révéler très utiles pour définir les zones à risque pour des concentrations en métaux lourds dans les eaux naturelles. En effet, les régions d'anomalies en sols correspondent bien aux zones où se rencontrent des eaux à concentrations excédant les normes ou les valeurs-guides pour des éléments tels que le zinc, le baryum, l'arsenic et l'antimoine.

A titre indicatif, des seuils guides ont été proposés pour les différents métaux. Ces valeurs ne sauraient en aucun cas se substituer à des normes, mais peuvent constituer des seuils d'alerte intéressants. Elles sont les suivantes :

- Zones où As sols > 300 ppm, risques pour les eaux AEP pour une concentration maximale admissible (cma) en As de 50 µg/l,
- Zones où As sols > 60 ppm, risques pour les eaux AEP pour une cma en As de 10 µg/l,
- Zones où Ba sols > 1000 ppm, risques de teneurs élevées en Ba pour les eaux AEP peu sulfatées ($\text{SO}_4 < 20 \text{ mg/l}$),
- Zones où Sb sols > 40 ppm, risques pour les eaux AEP pour une cma en Sb de 10 µg/l.

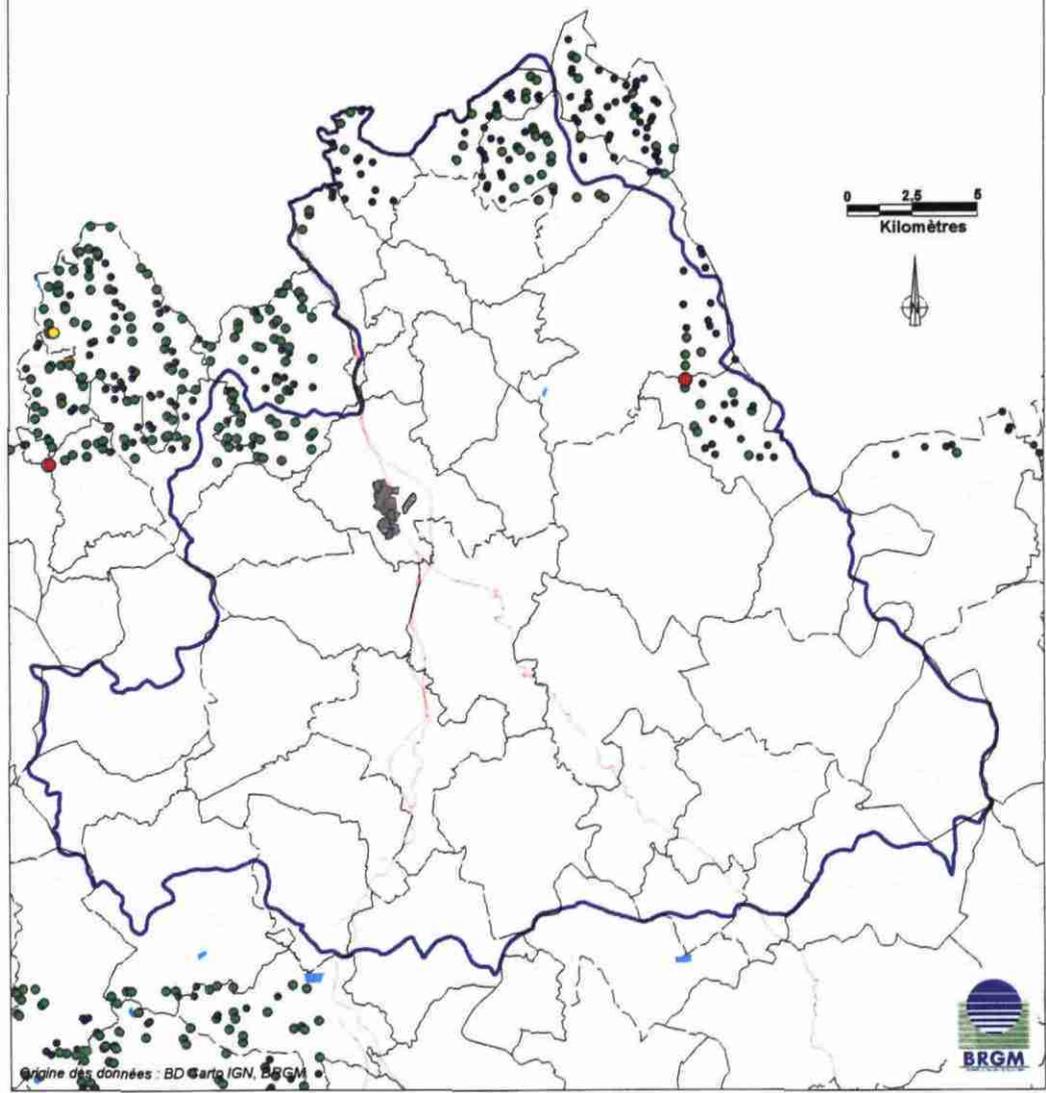
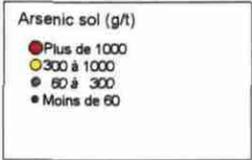
Une revue des données disponibles sur le bassin versant lozérien de la Truyère a donc été mise en œuvre (L. Chéry) afin de procéder à une évaluation de la qualité prévisionnelle des eaux souterraines vis à vis de la présence d'une *minéralisation anormale en métaux* (Arsenic, Baryum, Zinc, Plomb, Antimoine), ce critère pouvant être intégré dans le cadre de l'évaluation des potentialités en eau souterraine.

Pour l'ensemble du département de la Lozère, 5628 analyses sont disponibles et ont été réalisées au moyen de deux méthodes d'analyse différentes (1875 par plasma DCP et 3753 par plasma ICP). L'inventaire géochimique ne couvre cependant qu'une très petite partie de la zone étudiée : partiellement les communes de St-Privat du Fau, Le Malzieu-Forain, Lajo, Chaulhac, Julianges, Albaret-Ste-Marie, Les Monts-verts, Termes (Figures 8 et 9). Ceci est en soi un élément favorable dans la mesure où il indique que le granite est plutôt considéré par les prospecteurs miniers comme une zone peu favorable du point de vue de ses minéralisations en métaux (celles-ci se mettent en place préférentiellement au niveau des zones de contact granite - encaissant métamorphique). Toutes les analyses disponibles sur ce secteur ont été réalisées par la méthode Plasma DCP.

Les données concernant la qualité des eaux souterraines (analyses réglementaires pour l'alimentation en eau potable) ont été recueillies auprès de la DDASS de la Lozère (Figure 7 et Annexe 4). Compte tenu du faible débit unitaire des points concernés, les analyses pour lesquelles les métaux ont été dosés sont peu nombreuses. Les recouvrements avec les données de géochimie sol sont malheureusement relativement limités.

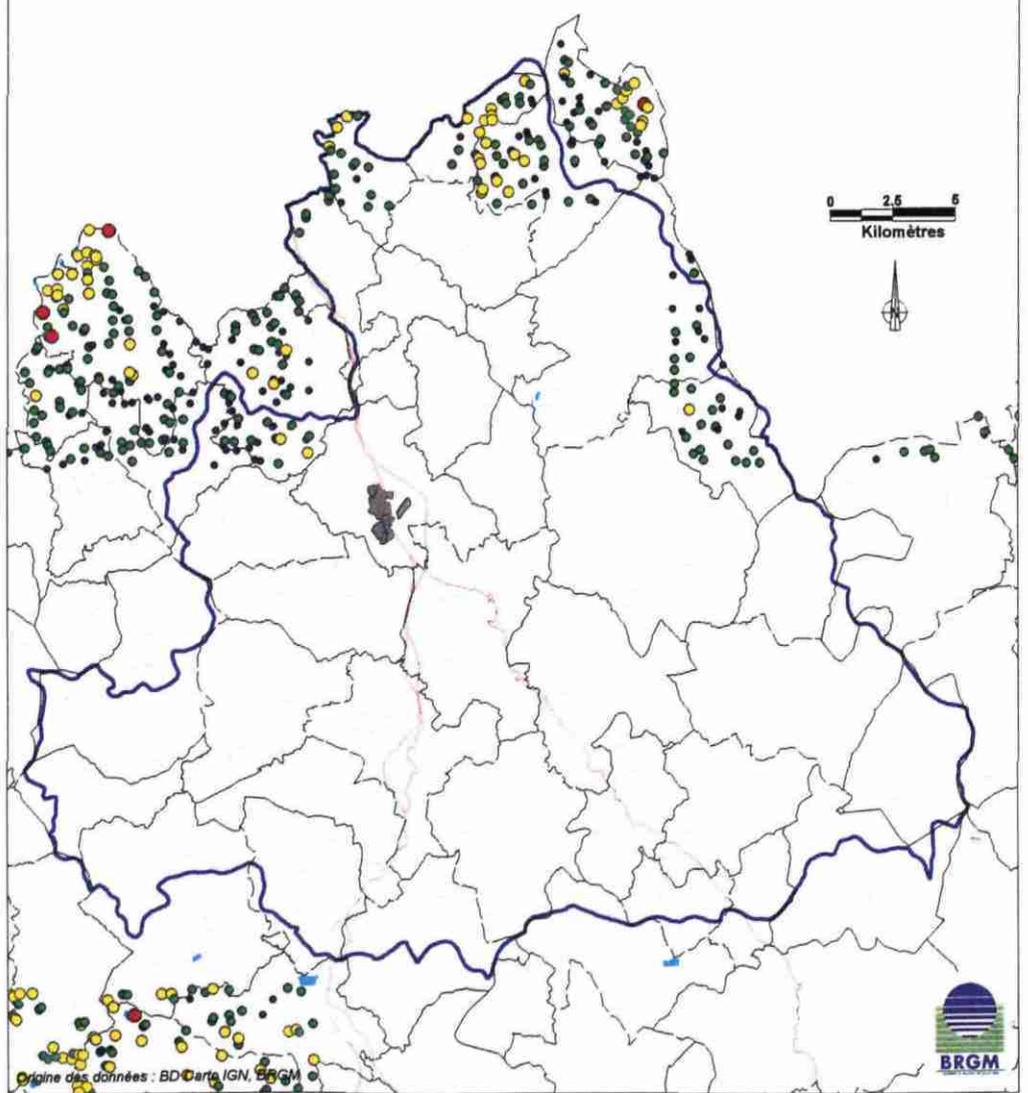
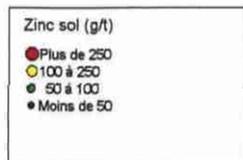
Figure 8

Bassin versant lozérien de la Truyère
Qualité prévisonnelle des eaux souterraines
Teneurs en Arsenic dans les sols (g/t)
Seuils de risque : 60 et 300 g/t



origine des données : BD Carte IGN, BRGM

Bassin versant lozérien de la Truyère
Qualité prévisonnelle des eaux souterraines
Teneurs en Zinc dans les sols (g/t)
Seuil : 100 g/t



origine des données : BD Carte IGN, BRGM

Les cartes des figures 8 et 9 présentent les gammes de teneurs en As, Zn, Ba, Pb au sein des sols, avec les seuils proposés par les études de faisabilité.

La principale anomalie géochimique en **arsenic** (Figure 8) se rencontre dans le secteur est de la zone d'étude, à proximité d'un filon de microgranite, au sein du granite porphyroïde calco-alkalin à biotite (limite des communes de Lajo et de Malzieu-Forain (plusieurs échantillons dépassant 60 g/t et un échantillon allant jusqu'à plus de 1000 g/t). Dans le secteur des Monts verts (granite à biotite) et de Saint Privat du Fau (à proximité du contact entre le granite à biotite et son encaissant métamorphique), les teneurs sol ne dépassent pas 300 g/t, mais atteignent assez fréquemment les 60 g/t.

Le plus souvent, les anomalies en arsenic bordent l'extérieur des granites. Les granites eux-mêmes peuvent contenir de l'arsenic dans les fissures, sous forme de sulfoarséniure de fer (FeAsS, pyrite arséniée ou arsénopyrite). Dans la zone d'altération météorique et dans les sols, cet élément est réputé fortement fixé sur les oxydes et hydroxydes de fer. Or, les granites sont des roches qui, dans l'ensemble, sont plus pauvres en fer que les schistes ou micaschistes par exemple. Ils auraient donc un pouvoir de rétention plus faible et l'arsenic aurait tendance à rester dissous, au lieu de se fixer sur les oxydes de fer des roches altérées.

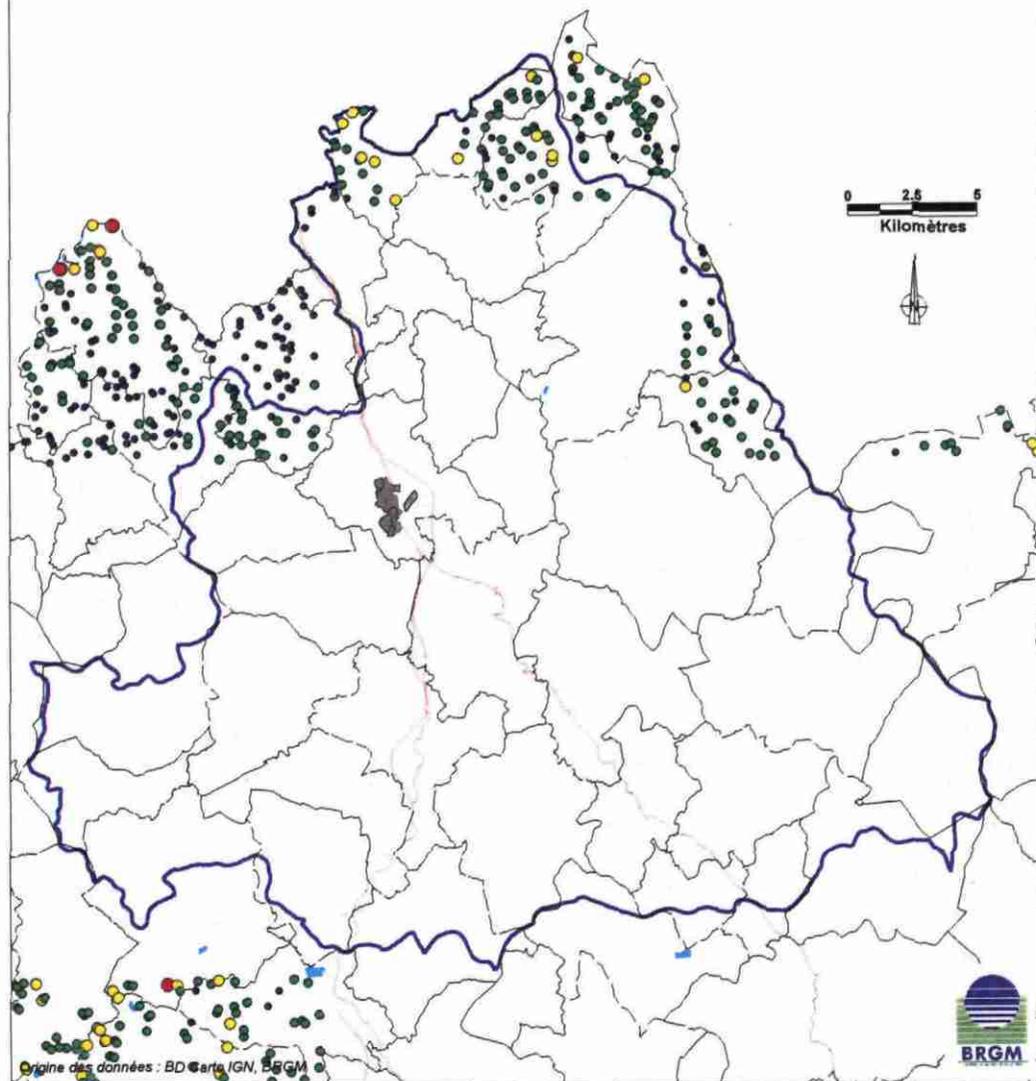
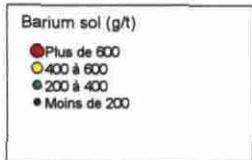
Les données disponibles concernant les eaux se situent malheureusement soit hors des zones couvertes par l'Inventaire, soit dans des zones sans anomalies dans les sols. Pour ce deuxième cas, les teneurs mesurées dans les eaux sont toutes inférieures ou égales à 5 µg/l (prise d'eau de Mialanes, captages Margeride 3-4-5 et 6-7).

En revanche, les analyses obtenues sur les captages de Las Corcelières et Riou-Frech, sur la commune de La Chaze-de-Peyre (SIAEP d'Aumont - Javols - La Chaze) montrent des teneurs qui, bien que restant très faibles, sont significativement plus élevées (respectivement entre 5 et 8 µg/l et entre 6 et 14 µg/l selon les analyses). Ces captages se situent au sein du granite, à proximité d'une faille identifiée sur la carte géologique. Une éventuelle anomalie en arsenic dans les sols n'est pas à exclure, mais aucune donnée géochimique n'est disponible dans ce secteur.

Il est notable que ces captages présentent également de **fortes teneurs en fer** (supérieures à la cma de 0.2 mg/l). Le fer et le manganèse ne sont pas liés à une question d'environnement géologique, mais de façon classique au potentiel d'oxydo-réduction : les eaux à fortes concentrations présentent toujours un faible contenu en oxygène dissous. Ce n'est pas le cas ici où, les eaux sont relativement enrichies en oxygène dissous et présentent pourtant de fortes concentrations en fer. Les analyses étant réalisées sur une eau non filtrée, le dosage du fer comprend probablement des oxydes et hydroxydes ferriques (fer particulaire) dans la mesure où les eaux sont superficielles (altérites). Les teneurs significatives en arsenic, mesurées également sur eaux non filtrées, peuvent alors être liées à la sorption d'arséniates sur ces hydroxydes de fer, processus très fréquent et à la cinétique très rapide.

Figure 9

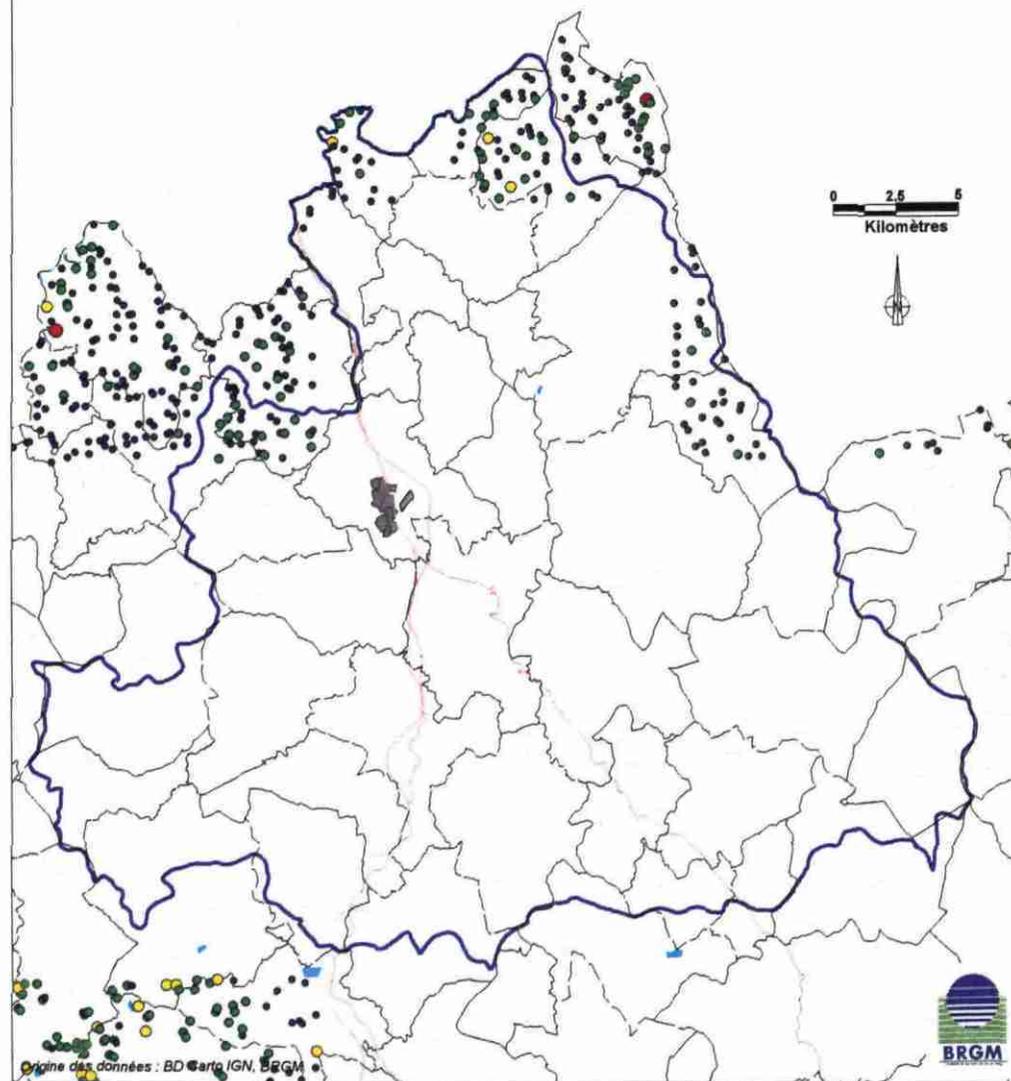
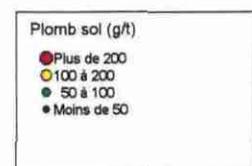
Bassin versant lozérien de la Truyère
Qualité prévisonnelle des eaux souterraines
Teneurs en Baryum dans les sols (g/t)
Seuils de risque : 1000 g/t (si SO4 -H2O- < 20 mg/l)



Origine des données : BD Carthage, IGN, BRGM



Bassin versant lozérien de la Truyère
Qualité prévisonnelle des eaux souterraines
Teneurs en Plomb dans les sols (g/t)
Seuil : 100 g/t
(Antimoine < 20 g/t)



Origine des données : BD Carthage, IGN, BRGM



Les anomalies géochimiques en **zinc** (teneurs supérieures à 100 g/t) se rencontrent pratiquement dans les mêmes secteurs que ceux des anomalies en arsenic (Figure 8). Il devrait en être de même pour le **cadmium**, le rapport cadmium/zinc dans l'environnement géologique étant généralement voisin de 1/1 000.

Les concentrations en zinc mesurées dans les eaux, hors zones couvertes par l'inventaire, sont toutes inférieures à 50 µg/l voire 20 µg/l. Aucune donnée « eaux » n'est disponible dans les zones riches en zinc où la richesse est probablement associée à la dissolution de carbonates zincifères.

Aucun secteur à anomalie géochimique en **baryum** n'existe sur le secteur étudié à travers les zones recouvertes par l'inventaire (Figure 9).

Les eaux du bassin de la Truyère sont des eaux peu minéralisées et notamment très appauvries en sulfates. En cas d'anomalie en baryum dans le sol, les eaux contiendraient probablement des teneurs significatives en baryum puisque les valeurs atteintes sont inversement proportionnelles aux concentrations en sulfates. L'origine du baryum est en général attribuée à la mise en solution de barytine.

Aucune anomalie en **antimoine** n'est détectée dans les zones couvertes par l'inventaire. L'antimoine est souvent associé à la présence de filons présentant ce type de minéralisation. Etant donné la rareté de ce genre de contexte géologique, ce type d'occurrence est tout à fait exceptionnel.

Dans les roches éruptives, le **plomb** (Figure 9) se trouve en général dans les mêmes minéraux que le potassium. Les teneurs en plomb des roches les plus potassiques, comme les granites riches en feldspaths, ne dépassent cependant guère 60 à 80 ppm. Des teneurs plus élevées indiquent l'existence d'une autre source de plomb. Apports anthropiques exclus, seuls les sulfures (et les minéraux d'oxydation qui en dérivent) peuvent représenter cet apport. Un environnement géochimique assez riche en plomb dans les sols ou les fines d'alluvions, de l'ordre de 80-100 ppm, indique généralement l'existence de sulfures en faible quantité dans les roches avoisinantes. C'est peut-être le cas dans les secteurs situés sur la commune de St-Privat du Fau.

Dans les eaux échantillonnées, aucune anomalie en plomb n'est détectée. Dans ce type d'eaux peu minéralisées, très agressives du fait de pH très acides (pH < 6.5), et donc très peu chargées en carbonates, un éventuel enrichissement en plomb dans le sol devrait se retrouver dans l'eau. En effet, le plomb est très soluble dans ces conditions (il n'est précipité sous forme de carbonate de plomb qu'à des pH >7). Il ne devrait donc pas y avoir d'anomalie en plomb dans les sols situés en amont des points de prélèvement d'eau pour lesquels des analyses sont disponibles.

Critères	Unité	Coefficient de pondération des critères Total : 1	Zones exclues (blanches)	Classes bornes et poids																	
				0		1		2		3		5		7		8		9		10	
				Défavorable Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup
Morphologie (MNT 50 m)	Pente (%)	0.2			-	20	20	10			10	5	5	2					2	-	
					0.1						0.5		0.7						1		
Altération + zone fissurée	Epaisseur (m)	0.4		Absence de zone fissurée 0			0	40			40	50			50	70			70	-	
							0.2				0.5				0.8				1		
Fracturation (Linéaments photo-Interprétation IGN) Paramètre additionnel : largeur des linéaments : 200 m linéaments supposés ou masqués, 300 m linéaments "certains	Orientaion (*)	0.1		Absence de linéament 0			112.5	70	70	42.5	42.5	17.5	17.5	162.5			162.5	137.5	137.5	112.5	
							0.2		0.3		0.5		0.7			0.9		1			
							46,56		45,55		44,54		43,53			42,52		41,51			
Lithologie substratum/hydro Code lithologique		0.3	Sec, Tertiaire, R volc. 10	0	Quaternaire (hors alluvions) 0.1	Leucogranite 0.2					Alluvions 0.5	Formations métamorphiques 0.7	Granites porphyroïdes 0.8	Filons (hors quartz) 0.9	Filons de quartz 1						
			11; 21, 22, 23, 31; 32; 33		1; 4, 5, 6; 7; 8	53					2; 3	41; 42, 43, 44, 45	51; 52, 54; 55; 56	61; 62, 64; 65; 66	63						

Tableau 1 : Matrice d'évaluation utilisée pour l'élaboration de la carte des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°1

Critères	Unité	Coefficient de pondération des critères Total : 1	Zones exclues (Blanches)	Classes bornes et poids																	
				0		1		2		3		5		7		8		9		10	
				Défavorable Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup	Binf<	<=Bsup
Morphologie (MNT 50 m)	Pente (%)	0.3			-	20	20	10			10	5	5	2					2	-	
					0.1						0.5		0.7						1		
Altération + zone fissurée	Epaisseur (m)	0.2		Absence de zone fissurée 0			0	40			40	50			50	70			70	-	
							0.2				0.5				0.8				1		
Fracturation (Linéaments photo-Interprétation IGN) Paramètre additionnel : largeur des linéaments : 200 m linéaments supposés ou masqués, 300 m linéaments "certains	Orientaion (*)	0.4		Absence de linéament 0			112.5	70	70	42.5	42.5	17.5	17.5	162.5			162.5	137.5	137.5	112.5	
							0.2		0.3		0.5		0.7			0.9		1			
							46,56		45,55		44,54		43,53			42,52		41,51			
Lithologie substratum/hydro Code lithologique		0.1	Sec, Tertiaire, R volc. 10	0	Quaternaire (hors alluvions) 0.1	Leucogranite 0.2					Alluvions 0.5	Formations métamorphiques 0.7	Granites porphyroïdes 0.8	Filons (hors quartz) 0.9	Filons de quartz 1						
			11, 21, 22, 23, 31, 32, 33		1; 4, 5, 6, 7, 8	53					2, 3	41; 42, 43, 44, 45	51, 52, 54, 55, 56	61, 62, 64, 65, 66	63						

Tableau 2 : Matrice d'évaluation utilisée pour l'élaboration de la carte des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°2

Quelques points d'eau présentent des teneurs relativement élevées en bore (jusqu'à 144 µg/l pour le captage Margeride 8-9 sur la commune de Malzieu-Forain, 108 µg/l pour le captage de Las Corcelières sur la commune de La Chaze de Peyre). Cet élément est vraisemblablement d'origine anthropique (rejets urbains). La composition des eaux captées est sans doute proche de celle des eaux superficielles situées à proximité ou fortement influencée par elles.

Le bassin versant lozérien de la Truyère étant peu renseigné par l'inventaire géochimique sol, il n'est pas envisageable de considérer ce paramètre dans le cadre de l'analyse multicritères. Il serait cependant souhaitable de procéder au prélèvement d'échantillons pour analyses en préalable au choix des sites de sondages de reconnaissance, voire même lors de la phase précédente, de choix des secteurs qui feront l'objet des prospections géophysiques. Les résultats obtenus permettraient d'écarter les anomalies radon situées dans des zones où la potentialité de capter des eaux riches en métaux est élevée.

Les travaux menés dans d'autres départements, notamment en Corrèze et en Ardèche ont en effet montré que certains forages présentent des concentrations, notamment en arsenic, nettement plus forte que les sources environnantes. Ces concentrations sont accompagnées d'une composition chimique des eaux elle aussi différente qui peut être associée à des zones mal réalimentées. Ceci expliquerait que les contenus en métaux diminuent au cours de pompages de longue durée ou après la mise en exploitation des forages (dilution des eaux « profondes » par de l'eau provenant des altérites). En tout état de cause, il existe des méthodes relativement simples de traitement (élimination avec un éventuel traitement de déferrisation, ou filtration sur sables manganésifères).

2.2.2. Analyse multicritères

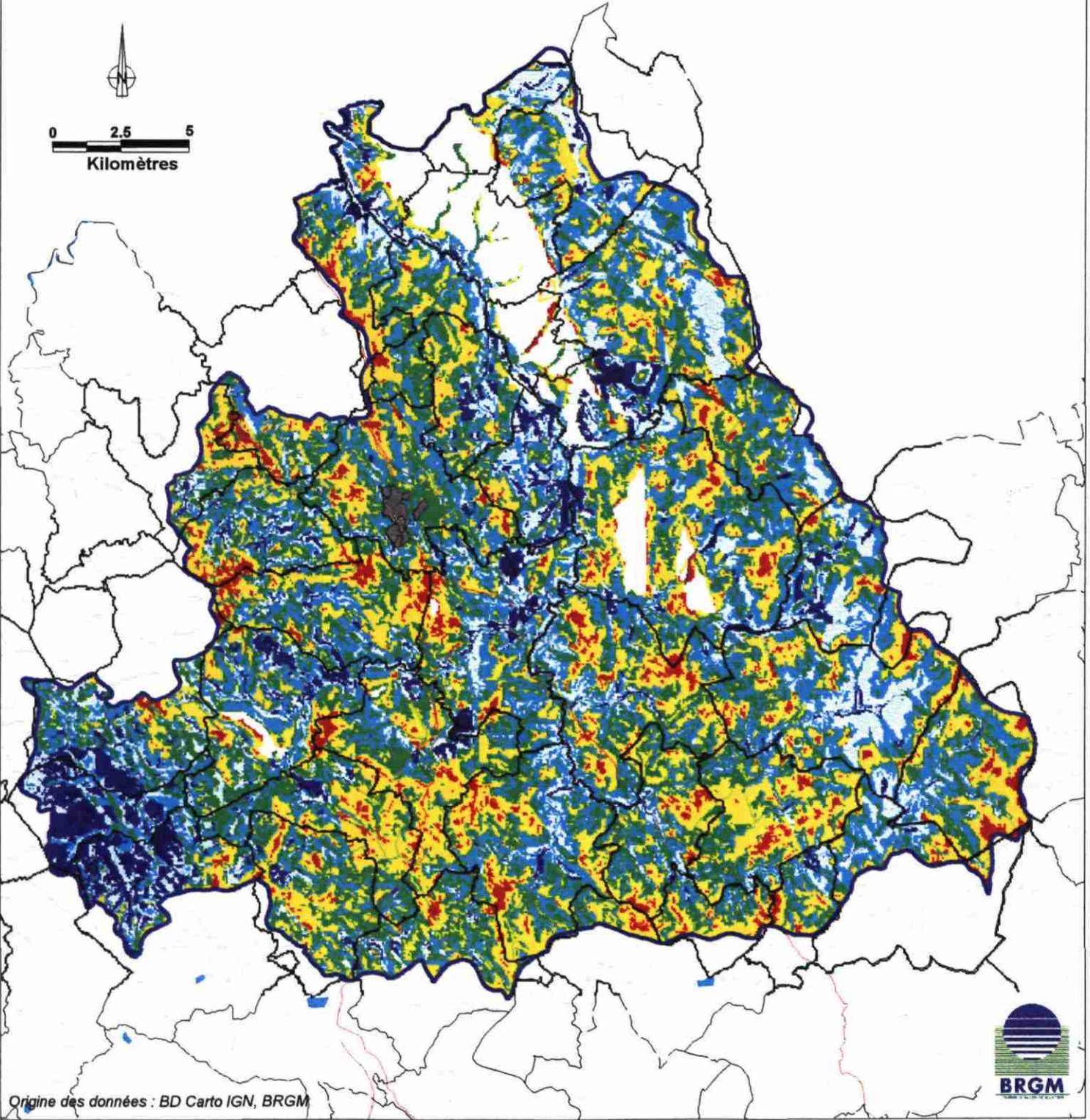
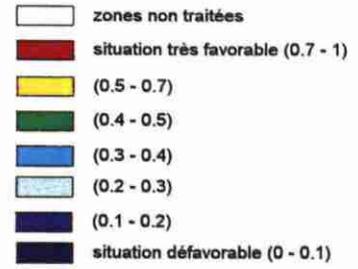
Plusieurs cartes préliminaires des potentialités en eau souterraine ont été établies par analyse multicritères, en pondérant les différents éléments d'information - ou paramètres - présentés plus haut (J.F. Desprats, P. Lachassagne ; digitalisation : J.L. Izac) : épaisseur des altérites, lithologie du substratum, carte des pentes, nature et orientation de la fracturation.

Sur le plan pratique, une note comprise entre 0 et 1 est attribuée à chaque classe du paramètre considéré (Tableaux 1 et 2), l'importance accordée à chacun de ces paramètres étant elle même pondérée par un coefficient de type pourcentage. Il est ainsi possible de traiter, au moyen du logiciel « Synergis », chaque pixel des documents cartographiques utilisés. Dans le cadre de cette étude, une discrétisation au 1/50.000 a été retenue (maille de 50 m de côté).

Les potentialités en eau souterraine résultant du calcul sont exprimées sur une échelle relative comprise entre 0 et 1, les secteurs étant d'autant plus favorables que leur note est élevée.

Figure 10

Bassin versant lozérien de la Truyère
Analyse multicritère
Carte préliminaire des potentialités
en eau souterraine du socle
Simulation n°1



Deux cartes de potentialités sont présentées (Figures 10 et 11). Elles ont été établies avec deux jeux différents de coefficients de pondération (Tableaux 1 et 2) privilégiant respectivement (1) l'épaisseur de la couverture altéritique (poids 40%) et la nature lithologique du substratum (poids 30%) et (2) l'orientation de la fracturation (poids 40%) et la carte des pentes (poids 30%). Les formations sédimentaires des bassins Oligocènes⁵ et les formations volcaniques n'ont pas été prises en considération dans le cadre de cette analyse.

D'une manière générale, les deux cartes présentent de grandes tendances similaires qui privilégient les secteurs à bonne couverture altéritique, faible pente et lithologie considérée comme favorable. Appréhendée de manière globale, cette cartographie permet d'opposer des secteurs plutôt favorables vis à vis de la ressource en eau souterraine au sein du socle et des secteurs sensiblement plus défavorables : basse vallée de la Truyère, zones d'altitude de l'Aubrac et de la Margeride, zones de leucogranites, en particulier dans le secteur de Prunières - Saint Pierre le Vieux - Le Malzieu Forain, etc.. Dans le détail, elle montre de fortes hétérogénéités qui suggèrent, ce qui est logique dans le cas de formations de socle, que des configurations favorables à très favorables peuvent être mises en évidence sur la quasi totalité des territoires communaux.

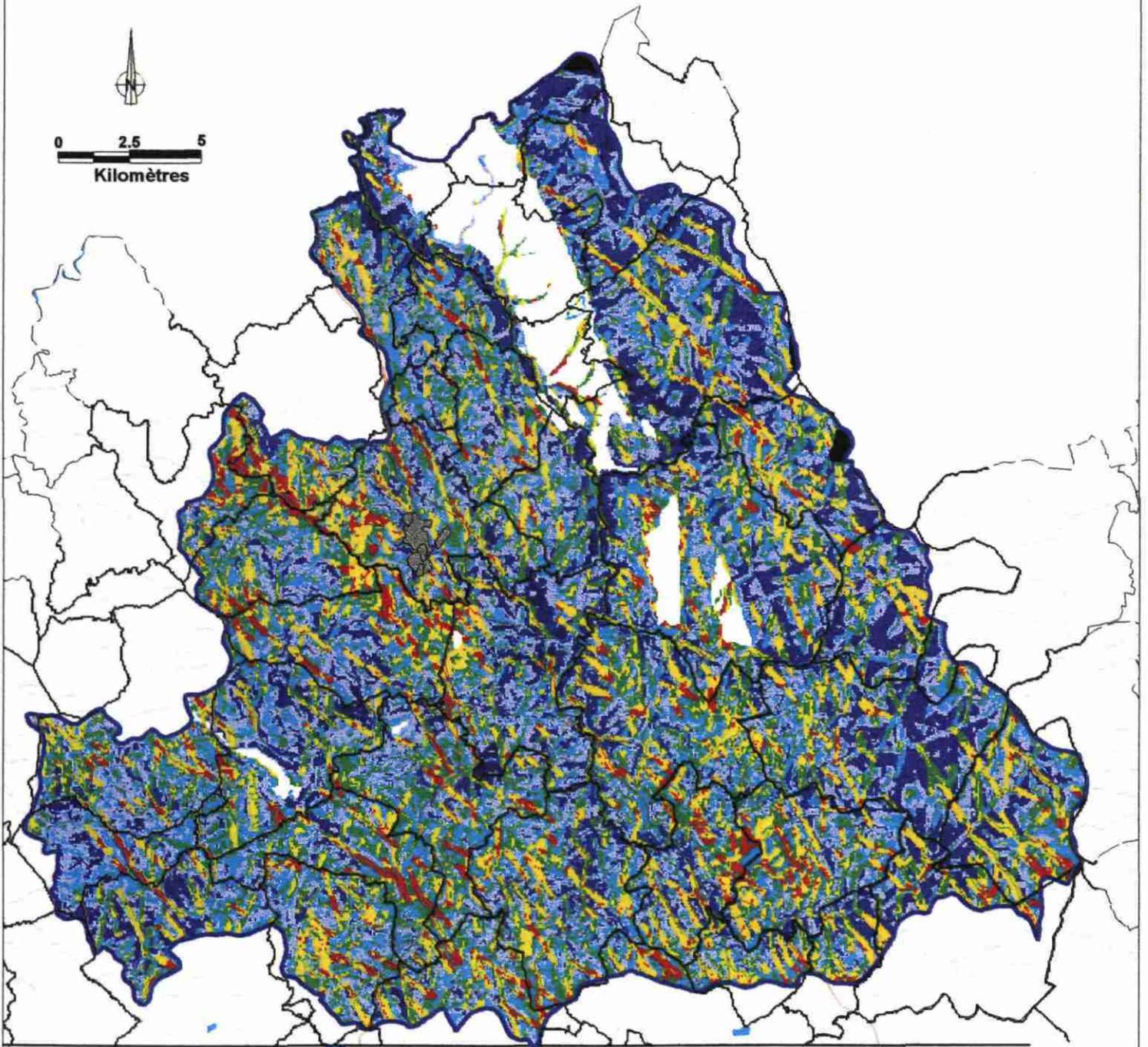
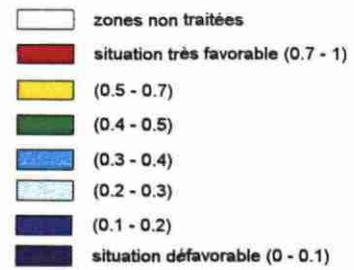
A l'échelle de travail retenue (1/50.000) et compte tenu de la taille des sites de prospection recherchés (quelques kilomètres carrés), l'analyse multicritères présentée sur la figure 13 semble plus pertinente que l'autre simulation. A cette échelle, le facteur ressource en eau, conditionné par le paramètre « épaisseur des altérites », nous semble en effet plus important que le paramètre fracturation qui sera plutôt utilisé à l'échelle du terrain pour le choix des sites de prospection.

Cette cartographie des potentialités présente un caractère préliminaire. Les paramètres pris en considération ainsi que les critères de pondération pourront en effet être complétés et/ou précisés au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles informations, dans le cadre des phases ultérieures du projet en particulier (travaux de terrain, prospections hydrogéologiques, forages, cartographie de la ressource en eau souterraine, etc.). Une cartographie révisée sera donc proposée à l'issue du projet.

⁵ Le remplissage des bassins tertiaires, constitué essentiellement d'altérites remaniées, présente globalement une faible perméabilité, similaire, voire plus faible que celle des altérites en domaine de socle. Dans ce contexte, il conviendrait donc d'exploiter leur substratum fissuré et fracturé. Pour des raisons économiques (coût des forages) et techniques (absence de méthodes d'implantation des ouvrages adaptées à de telles profondeurs), cela ne pourrait être envisagé qu'en bordure de bassin, principalement côté Ouest, dans les secteurs où le substratum est présent à faible profondeur (moins de 50 m).

Figure 11

Bassin versant lozérien de la Truyère
Analyse multicritère
Carte préliminaire des potentialités
en eau souterraine du socle
Simulation n°2



2.3. TYPOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES

Une carte de l'aptitude des formations alluviales du point de vue hydrogéologique a été établie (Figure 12) à partir des données disponibles sur les cartes géologiques et topographiques, des photographies aériennes et surtout au moyen d'observations de terrain (P. Le Strat).

Ce travail montre que, depuis le Plio-Quaternaire, la rivière s'encaisse dans son substrat par l'intermédiaire de formes plus ou moins méandrées surimposées. Le second résultat de cette étude est de souligner que la dynamique générale du système est en régression généralisée. C'est à dire que pour atteindre son profil d'équilibre, la rivière va avoir tendance à éroder depuis son niveau de base le plus bas (c'est à dire à l'aval de la rivière) jusqu'à son niveau le plus haut (c'est à dire à l'amont). Cette dynamique va se produire par étapes successives, justifiées par la présence de verrous tectoniques ou lithologiques qui agissent comme autant de « marches d'escalier ». Le système voit donc une certaine quantité d'altérites siliceuses, en provenance du socle de la Margeride, transiter par son réseau fluvial.

Le système alluvial de la Truyère apparaît ainsi comme distribué suivant trois grands secteurs géographiques, en fonction de niveaux de base du fleuve différents suivant les zones, commandés par ces verrous. Les niveaux de base sont de « plus en plus bas » depuis l'amont vers l'aval, c'est à dire que la rivière s'encaisse de plus en plus profondément au passage des verrous. Cette disposition détermine plusieurs zones géographiques qui sont, de l'aval vers l'amont (Figure 12) :

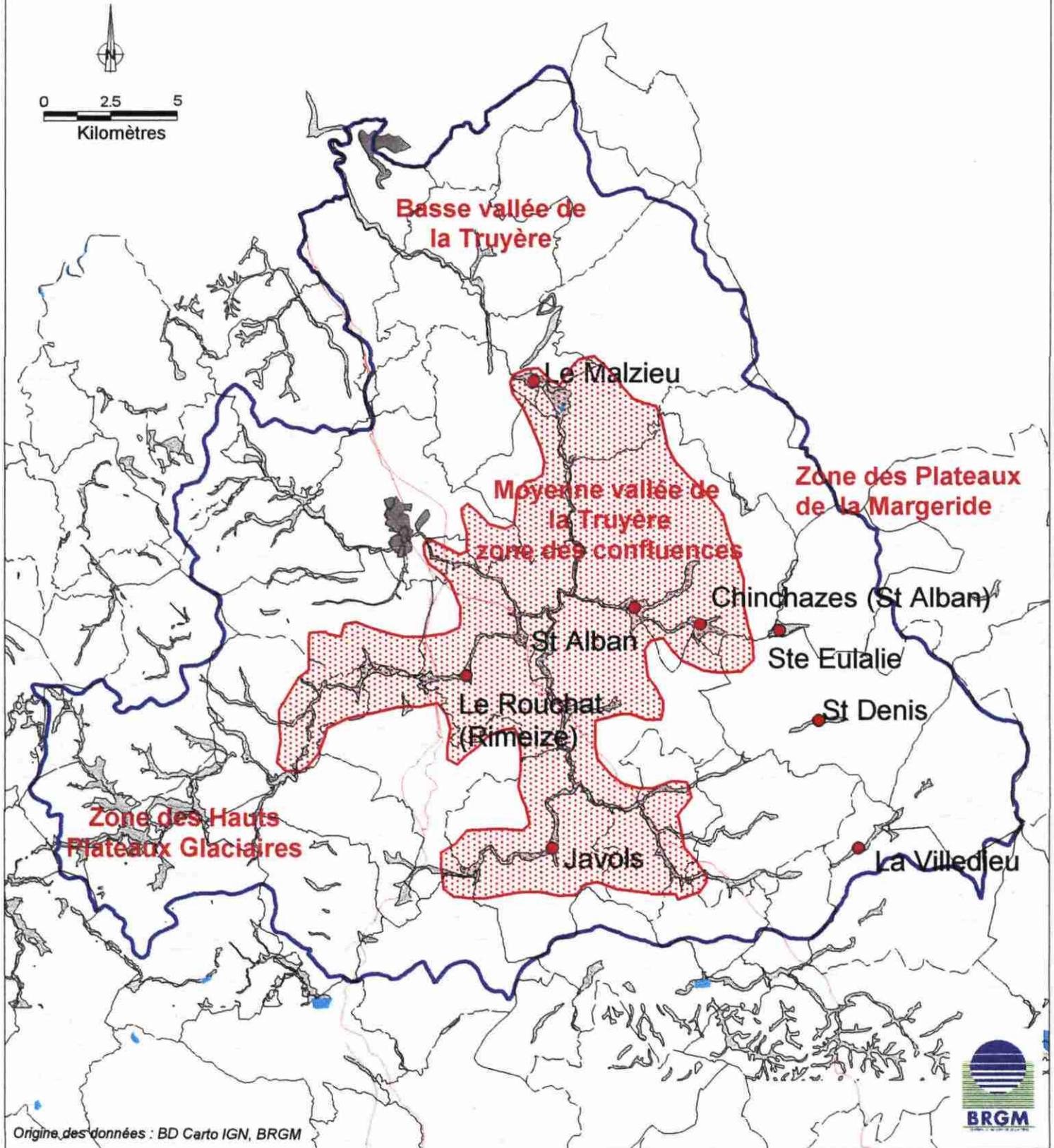
- 1) la *basse vallée de la Truyère*, en aval du premier verrou tectonique et lithologique du Malzieu Ville. C'est là que la rivière est la plus encaissée et que l'érosion est la plus forte. Le système est en transit complet. Les sédiments ne sont qu'à peine préservés dans les rives convexes des méandres. **Les systèmes alluvionnaires sont extrêmement réduits,**
- 2) la *moyenne vallée de la Truyère* ou « zone des confluences » est la plus favorable au stockage des sédiments alluviaux, en amont des verrous tectoniques et lithologiques. Elle comprend les **systèmes alluvionnaires les plus développés**. La remontée du niveau de base dans ces secteurs favorise la préservation des sédiments (c'est le cas des bassins tertiaires, notamment celui du Malzieu Ville). Dans ces secteurs favorables, les systèmes fluviaux ont tendance à méandrer et à perdre leur charge minérale, alors que dès que la pente devient plus importante, le système redevient droit et suffisamment dynamique pour transporter les sédiments. Les zones les plus favorables à leur piégeage, se situent à la confluence de deux rivières, directement en amont des verrous tectoniques ou lithologiques. Sur le terrain, il convient de choisir les zones de la vallée les plus larges, avec des pentes du substratum suffisamment fortes pour augmenter les dépôts centres⁶,

⁶ Un « dépôt centre » correspond à une zone d'accumulation maximale de sédiments.

Figure 12

Bassin versant lozérien de la Truyère Typologie des formations alluviales et hiérarchisation des sites de prospection

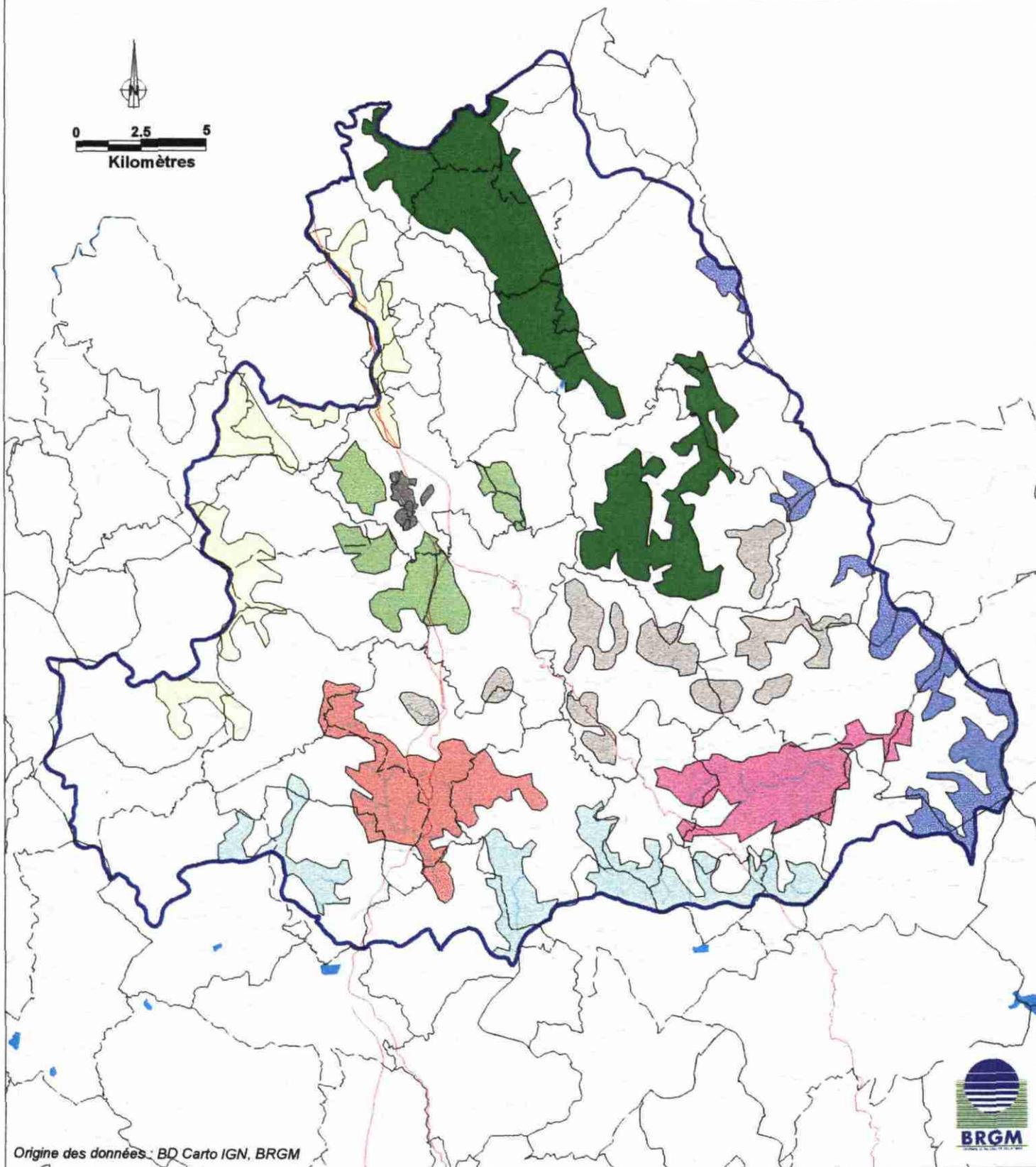
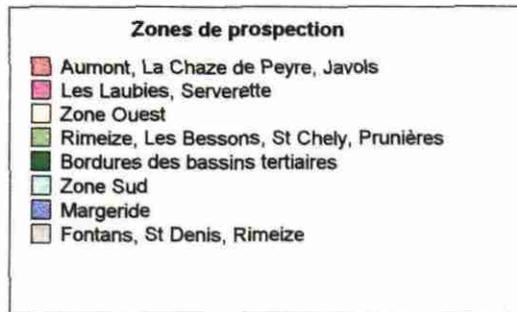
Géologie
■ Alluvions fluviales



- 3) les *hautes vallées* (de la Truyère et de ses affluents), au sein desquelles deux secteurs peuvent être individualisés :
- à l'Ouest, la *zone des plateaux de l'Aubrac* qui, du fait de l'érosion glaciaire, ne montre pas de reliefs accusés et comporte surtout très peu d'altérites résiduelles. Le transit sédimentaire est de ce fait faible et la sédimentation sur ces bassins alluviaux, toujours en amont de verrous, est essentiellement tourbeuse. Les systèmes alluvionnaires y présentent très vraisemblablement une **faible perméabilité** (dominante argileuse et tourbeuse),
 - à l'Est, les *reliefs de la Margeride*. Les zones intéressantes sont toujours à l'amont de verrous tectoniques ou lithologiques. Les pentes sont ici suffisamment fortes pour à la fois développer des systèmes fluviaux droits et le transit d'altérites siliceuses. Les zones d'accumulation, bien que partiellement tourbeuses, comportent suffisamment d'altérites pour former des **systèmes alluvionnaires intéressants**. Là encore, les meilleurs sites se situent au droit des plus grandes largeurs de la vallée en amont des verrous, là où les dépôts centres sont les plus importants.

Figure 13

Bassin versant lozérien de la Truyère Zones d'intérêt pour la prospection hydrogéologique du socle



3. Proposition de sites de prospection expérimentaux

3.1. SOCLE

3.1.1. Définition de zones d'intérêt pour la prospection hydrogéologique

L'analyse de la carte des potentialités (Figure 10) a permis de proposer la liste des zones d'intérêt suivantes (Figure 13), sur des critères purement hydrogéologiques :

- (1) secteur conjoint aux communes d'Aumont, La Chaze de Peyre, Javols,
- (2) secteur conjoint aux communes des Laubies et de Serverette,
- (3) limite ouest du bassin versant, en amont des communes de La Fage Montivernoux, Les Bessons, La Fage Saint Julien, Thermes, Les Monts Verts, Saint Chély, Blavignac, Albaret Sainte Marie,
- (4) massifs isolés sur les communes de Rimeize et Les Bessons, Saint Chély d'Apcher et Prunières ; le secteur semblant le plus intéressant étant celui de Les Bessons - Rimeize, centré sur un petit bassin sédimentaire,
- (5) pourtour des bassins de Saint Alban sur Limagnole (y compris massif isolé à l'Est de Saint Alban) et prolongation sur Lajo ; dans une moindre mesure, bassin du Malzieu, le secteur de Chaulhac et Julianges semblant le plus intéressant,
- (6) limite sud du bassin versant sur les communes de Sainte Colombe de Peyre, Javols, Ribennes, Saint Gal, Saint Amans.
- (7) crête de la Margeride sur les communes d'Estables, La Villedieu, Sainte Eulalie - Lajo, Le Malzieu Forain,
- (8) massifs isolés sur les communes de Fontans, Saint Denis et Rimeize.

Toutes ces zones présentent des épaisseurs significatives d'altérites, sont caractérisées, sur la majorité de leur superficie, par des pentes relativement faibles, et évitent les massifs de leucogranites. La plupart d'entre elles renferment des linéaments d'orientation favorable à proximité desquels pourront être focalisés les travaux de prospection à venir.

Comme indiqué plus haut, des sites également favorables, mais de plus faible extension cette fois-ci, peuvent être identifiés sur la quasi totalité des communes du bassin versant lozérien de la Truyère.

Figure 14

Bassin versant lozérien de la Truyère
Régions retenues pour la recherche de sites de prospection socle et alluvions

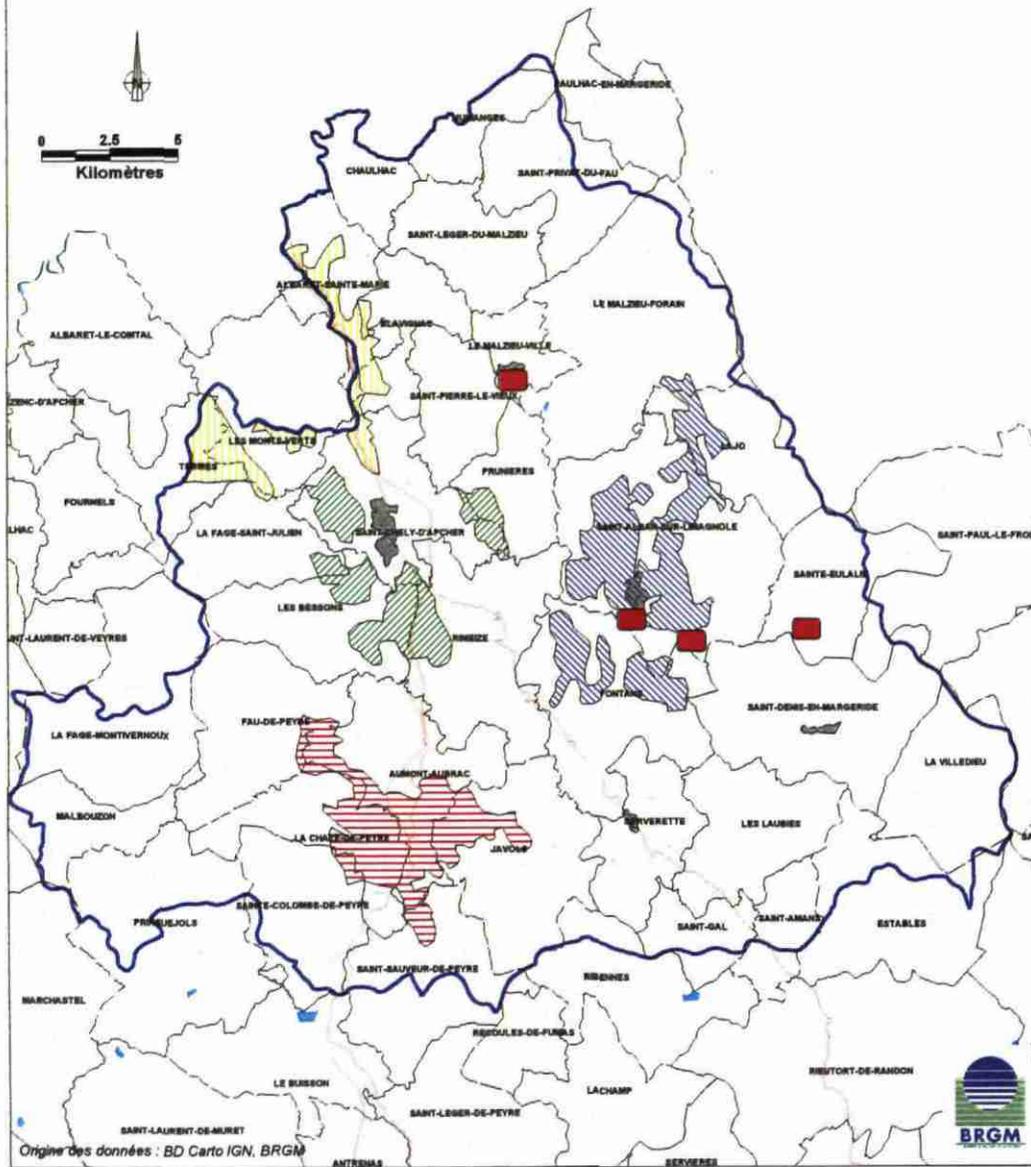
Régions retenues pour la prospection

SOCLE

-  Aumont, La Chaze de Peyre, Javols
-  Zone Ouest (Ru de Fontbelle)
-  Rimeize, Les Bessons, St Chely, Prunières
-  St Alban

ALLUVIONS

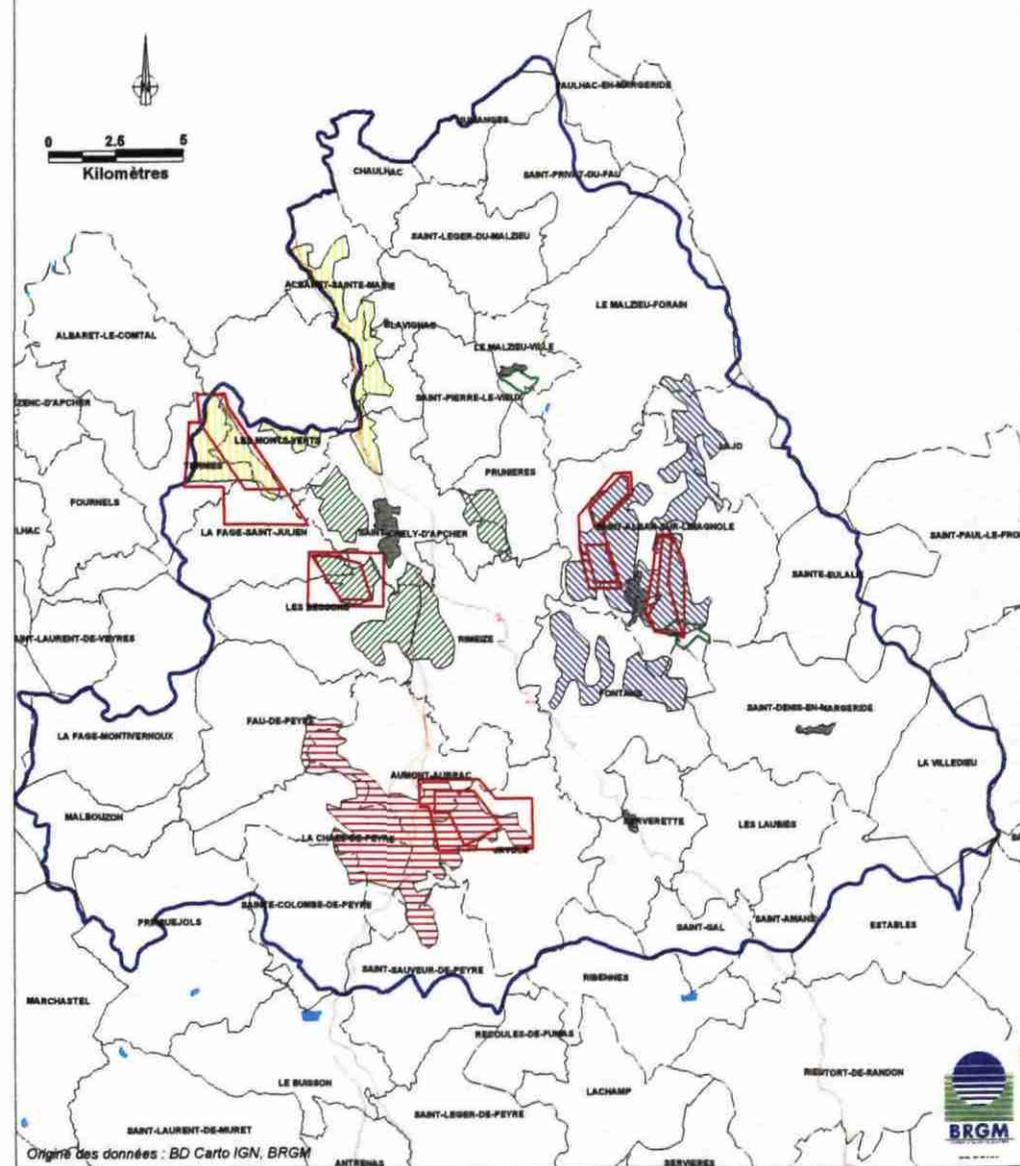
-  Le Malzieu Ville, Ste Eulalie, St Alban, Chinchazes



Bassin versant lozérien de la Truyère
Sites de prospection socle et alluvions retenus à l'issue de la phase 1 du projet

Sites de prospection

-  socle
-  alluvions



3.1.2. Zones retenues pour la recherche de sites de prospection

A l'issue du deuxième comité de pilotage du projet, les quatre zones suivantes ont été retenues (Figure 14), en concertation avec le comité de pilotage du projet (Annexe 1), sur la base de critères concernant l'adéquation ressource actuellement disponible/ besoins actuels ou à venir :

- (1) Aumont, La Chaze de Peyre, Javols,
- (2) Syndicat du Ru de Fontbelle (une partie du domaine situé en limite ouest du bassin versant, en amont des communes de La Fage Saint Julien, Thermes, Les Monts Verts, Saint Chély, Blavignac, Albaret Sainte Marie),
- (3) massifs isolés entourant Saint Chély, sur les communes de Rimeize et Les Bessons, Saint Chély d'Apcher et Prunières,
- (4) puis, dans un deuxième temps, environs de Saint Alban sur Limagnole (Saint Alban, Lajo et Fontans).

Ces quatre zones correspondent en fait à des secteurs proches des principales agglomérations (Saint Chély, Aumont, Le Malzieu, Saint Alban) ainsi qu'au tracé de l'autoroute A75 qui constitue un lieu privilégié de développement économique.

3.1.3. Sites de prospection choisis à l'issue de la première phase du projet

Sur chacune ces quatre zones, plusieurs sites de prospection ont été identifiés, puis hiérarchisés sur la base de critères (Tableau 3) :

- **hydrogéologiques** : vérification du contexte morphologique et de l'occupation du sol (zones de faible pente et non urbanisées), de l'épaisseur et la continuité de la couverture altéritique et surtout de la présence de photo fractures d'orientation favorable,
- et **technico-économiques** : proximité d'infrastructures d'adduction existantes. Les documents utilisés à cet effet sont l'étude BRL ainsi que des documents complémentaires recueillis auprès de la DAF et des exploitants (CGE, syndicat du Ru de Fontbelle en particulier).

Finalement, quatre sites de prospection (Figure 14 et Tableau 4) ont été retenus, en concertation (Annexe 1) avec le comité de pilotage du projet (sur la commune de Saint Alban, le site du Rouget - Chinchazes a été privilégié, in fine, par rapport à ceux situés sur la partie ouest de la commune). L'emplacement exact de chacun de ces sites est reporté sur les Figures 15 à 18. Au sein de chacun d'entre eux, deux zones ont été définies (secteur central et secteur périphérique) dans l'optique des demandes d'autorisation aux propriétaires, les prospection radon réalisées au sein du secteur central pouvant éventuellement déborder en secteur périphérique.

**Tableau 3 : Sites de prospection "socle" proposés par le BRGM
sur les secteurs définis les 30/07 et 4/09/98**

En gras, sites retenus le 4/09/98

Secteur retenu le 30/07/98 (ordre de priorité)	N° du site	Zone	Superficie (km ²)	Intérêt (4 = max)				Commentaire Hydrogéologie; Réseau; Protection
				Total	Hyd.	Rés.	Prot.	
Aumont, Javols, La Chaze de Peyre	<u>1</u>	<u>La Fage S</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>2+</u>	<u>1</u>	<u>4</u>	Altérites; accès 2
	2	Aumont SE (A)	3	3	3	4	3	
		St Sauveur N (B)	0.6	1	1	0	3	
		La Chaze W (C)	0.4	1+	1	2	3	
		(D)			0+	3	4	
		(E)			0+	3	4	
		<u>Grandviala N (F)</u>	<u>1</u>	<u>2+</u>	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>4</u>	Altérites>20; pente Alt. peu ép.
	3	Aumont Nord	0.5	2-	2	0	3	
Saint Chély d'Apcher	9	St Chély N				2	0	Autoroute Autoroute 4
	4	<u>St Chély S</u>	<u>1.1</u>	<u>2-</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	
	5	<u>St Chély SW</u>	<u>0.4 + 0.4</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	
	6	St Chély NW	0.5 + 0.3	1	1	0	4	
Ru de Fontbelle	7	Termes E	2.8	4	4	3	3	Altérites > 20 m 1
	8	Recoulès	0.6,	1	1	3	3	
Prunières - Saint Chély	<u>10</u>	<u>St Chély E</u>	<u>0.6 + 0.2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	3
Saint Alban sur Limagnole	11	St Alban N	1 + 0.5	3	3	3	3	
	12	St Alban E	1	3	3	3	2	
	13	St Alban S	1.3	2	2	0	3	

Tableau 4 : Ressources en eau Margeride Ouest
Sites de prospection retenus à l'issue de la phase 1 du projet

Secteurs retenus les 30/07 et 4/09/98	N° du site	Zone	Superficie (km2)	Communes concernées (par ordre d'importance)	Commentaire
Sites "socle"					
Aumont, Javols, La Chaze de Peyre	2	Aumont Sud-Est	3	Javols Aumont Aubrac	
Saint Chély d'Apcher	5	St Chély Sud-Ouest	1	Les Bessons La Fage Saint Julien Saint Chély d'Apcher	pour une très faible superficie
Ru de Fontbelle	7	Termes Est	2.8	Les Monts Verts Termes La Fage Saint Julien	pour une très faible superficie
Saint Alban sur Limagnole	12	St Alban Est	1	Saint Alban	
Sites "alluvions"					
Le Malzieu-Ville		Le Malzieu	0.7	Malzieu Ville Malzieu forain	pour une très faible superficie
Saint Alban sur Limagnole		Chinchazes	1	Saint Alban sur Limagnole Fontans	pour une très faible superficie

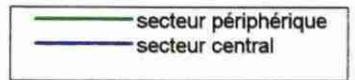
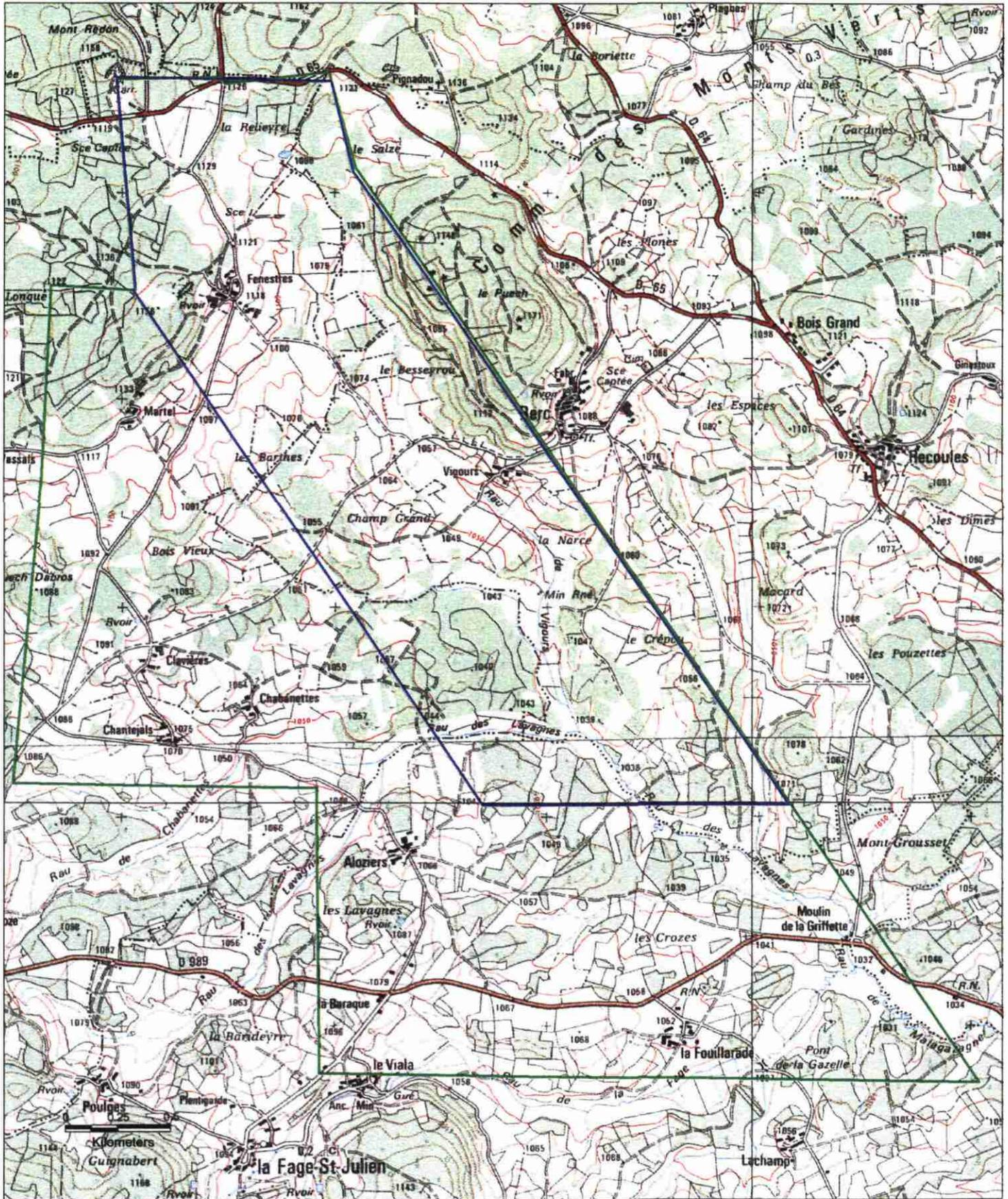
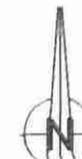
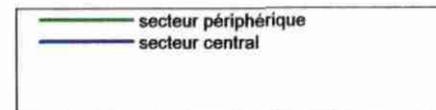
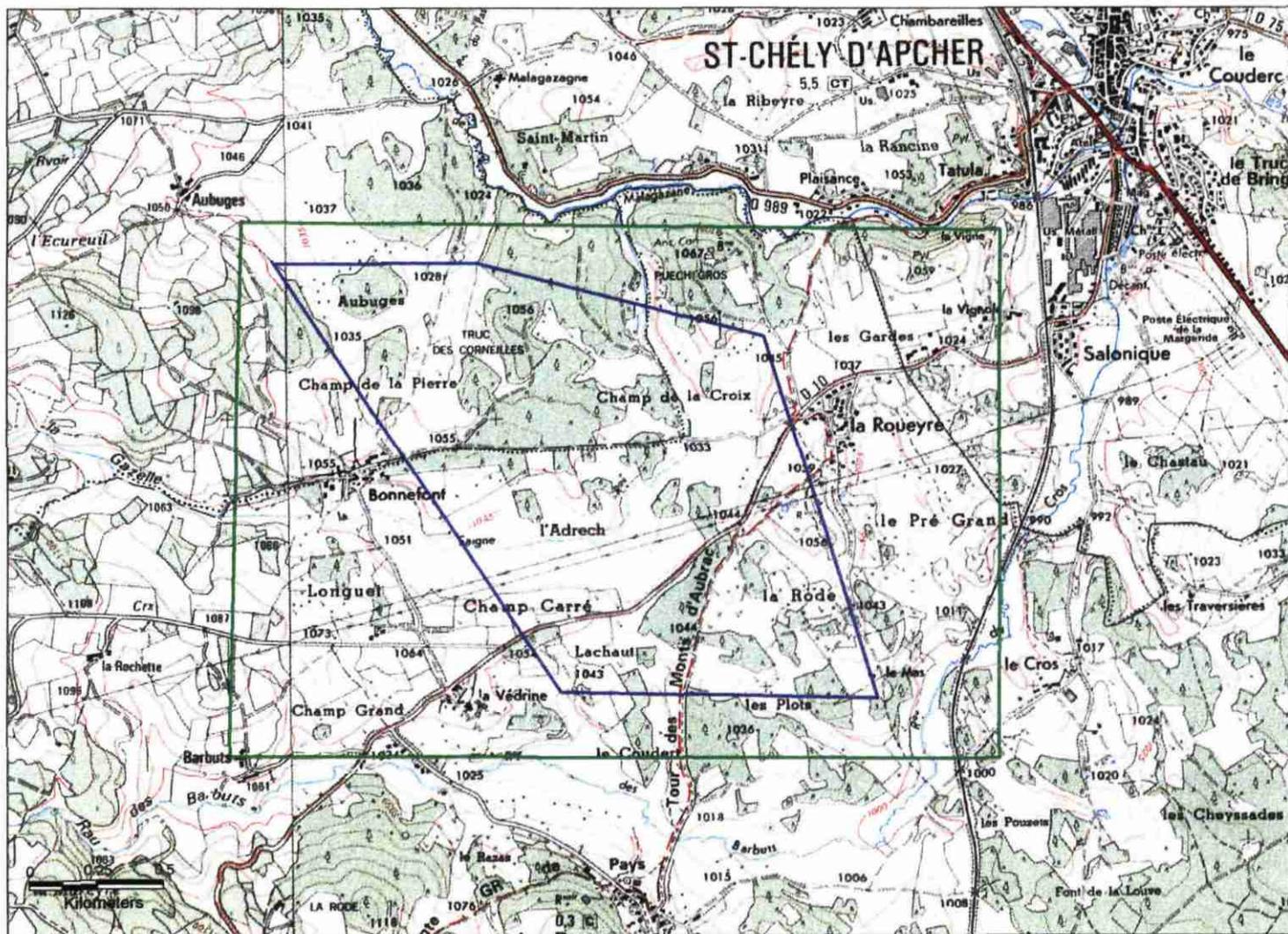


Figure 15



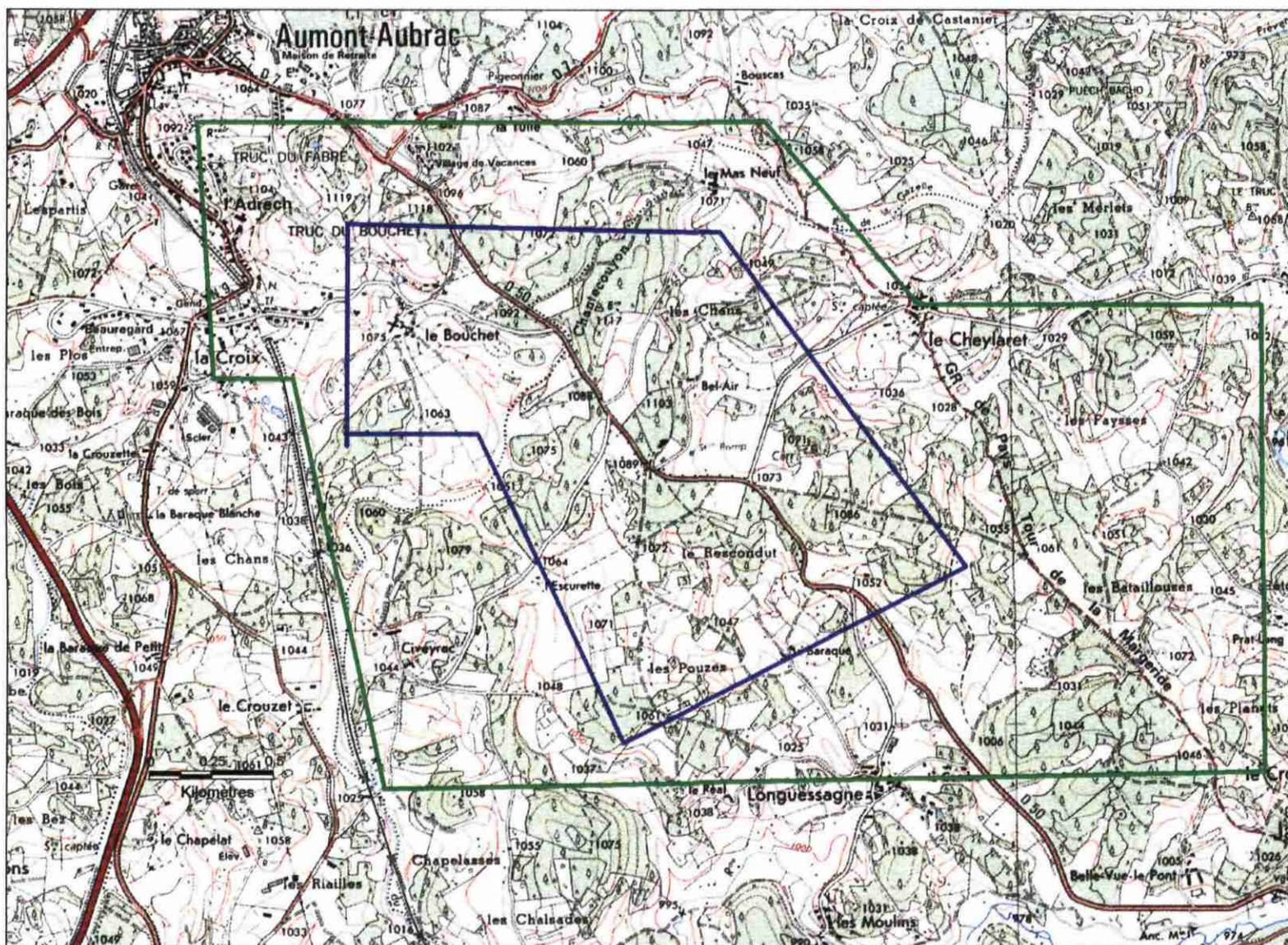
Zone de prospection du socle
(secteur central et périphérique)

Figure 16



Zones de prospection du socle
(secteur central et périphérique)

Figure 17



— secteur périphérique
— secteur central



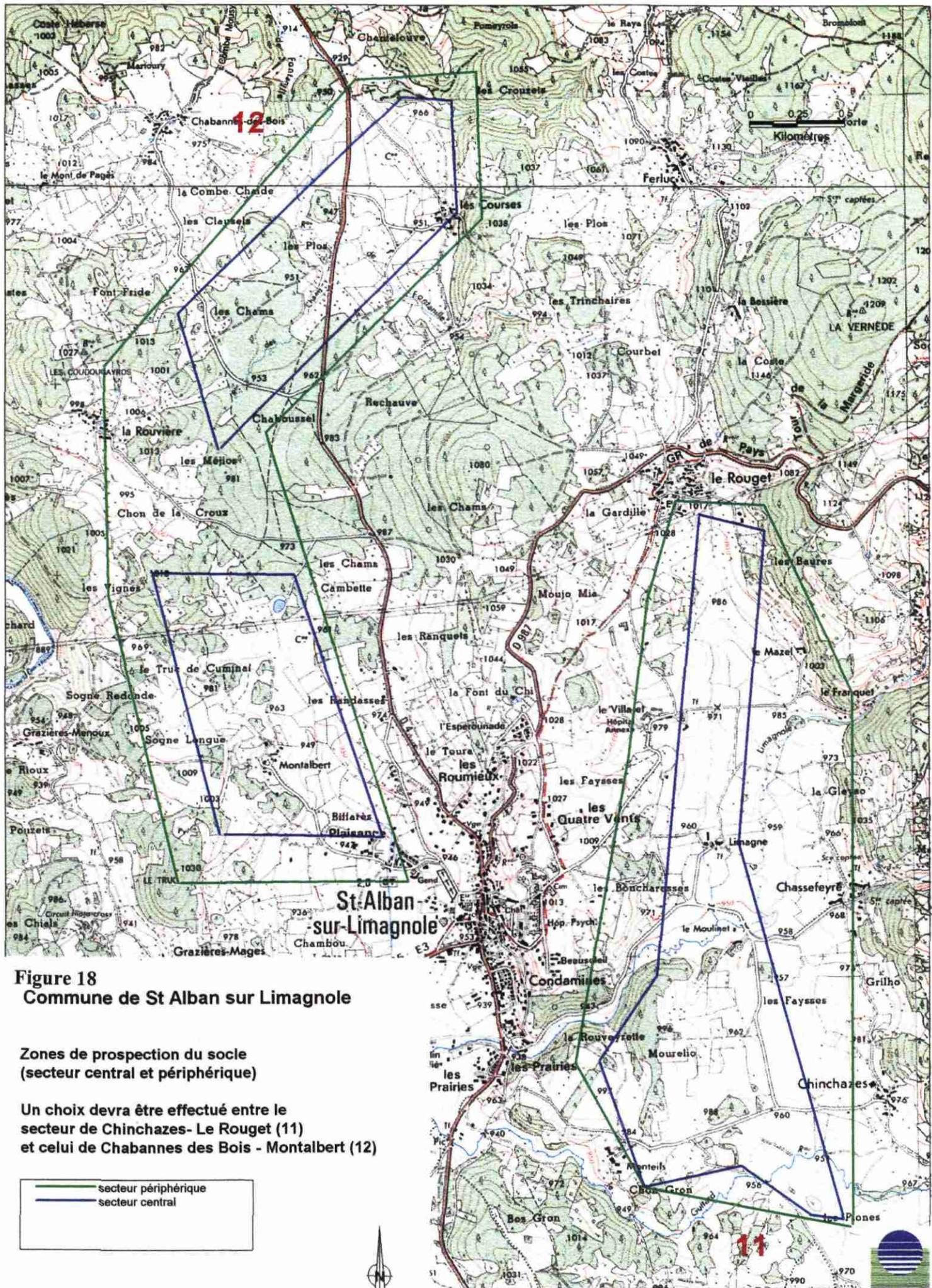
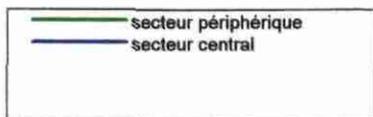


Figure 18
Commune de St Alban sur Limagnole

Zones de prospection du socle
(secteur central et périphérique)

Un choix devra être effectué entre le
secteur de Chinchazes- Le Rouget (11)
et celui de Chabannes des Bois - Montalbert (12)



3.2. FORMATIONS ALLUVIALES

Deux catégories de sites, correspondant aux deux principaux types de configurations favorables identifiées (Figure 12) ont été proposées dans un premier temps pour faire l'objet des prospections hydrogéologiques expérimentales :

1) zone des confluences, la plus favorable :

- Le Malzieu Ville,
- Saint Alban,
- Chinchaze (C^{nc} de Saint Alban),
- Le Rouchat (C^{nc} de Rimeize),
- Javols,

2) zone de la Margeride, sensiblement moins favorable :

- Sainte Eulalie,
- Saint Denis,
- La Villedieu.

Cette liste n'est pas limitative, mais correspond aux systèmes les plus évidents et les plus accessibles.

Parmi ceux-ci, les sites du Malzieu ville, de Saint Alban (Saint Alban et Chinchazes) et de Sainte Eulalie ont été retenus dans un premier temps (Figure 14), en concertation avec le comité de pilotage du projet (Annexe 1) sur des critères hydrogéologiques (puissance supposée des alluvions).

Finalement, les deux sites choisis par le comité de pilotage du projet se situent seulement au sein de la zone des confluences, dans deux secteurs, Malzieu Ville et Saint Alban (Figures 19 et 20) où les besoins exprimés sont importants. Dans ce dernier secteur, le site de Chinchazes a été privilégié par rapport à celui de Saint Alban ville sur le critère de la vulnérabilité de la ressource.

Le site du Malzieu ville présentant a priori les plus fortes potentialités du bassin en terme de volume mouillé des alluvions (épaisseur et extension latérale), l'évaluation des potentialités en terme de débit exploitable qui y sera réalisée permettra de disposer d'une estimation par excès de l'intérêt de ce type de formations à l'échelle du bassin versant.

Ce site fera également l'objet d'une prospection géophysique expérimentale (prospection électromagnétique de type EM31), dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Montpellier II. Deux profils perpendiculaires sont envisagés qui, outre leur intérêt scientifique, permettront de préciser la caractérisation du site déduite des sondages à la tarière.

Figure 17

Communes de Malzieu-Ville et du Malzieu-Forain

Zone de prospection des alluvions par sondage à la tarière



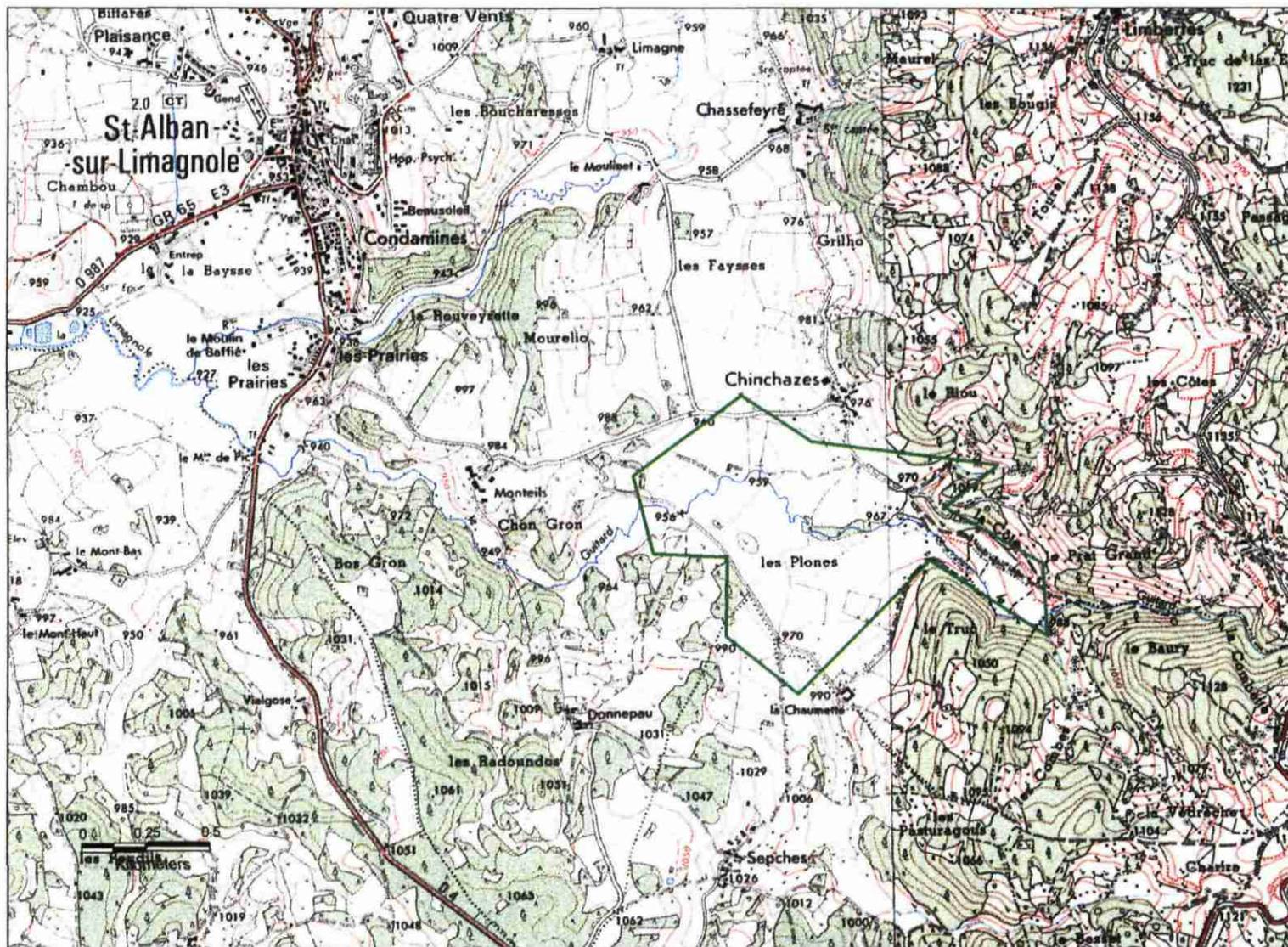
origine des données : BRGM, IGN (fonds topo 1/25.000)



Communes de St Alban sur Limagnole et de Fontans

Zone de prospection des alluvions par sondage à la tarière

Figure 20



4. Autres travaux en cours d'avancement

4.1. EVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU

Comme prévu au cahier des charges, la première phase du travail d'évaluation de la ressource en eau a été mise en oeuvre au cours de l'été 1998, avec la collaboration d'un stagiaire de l'ISIM Montpellier (S. LAPSCHER).

Les résultats obtenus sont présentés au sein du rapport correspondant joint en annexe. Les principaux travaux suivants ont été réalisés :

- recensement des données hydrologiques disponibles et préparation et organisation du travail de terrain :
 - localisation des principaux points d'eau et captages connus (données BRL, DIREN, DDASS, DAF, interrogation des services communaux, banque du Sous-Sol et « dossiers communaux » BRGM, analyse des cartes topographiques, etc.),
 - recueil et analyse des mesures ponctuelles de débit (DIREN en particulier), identification des sites faisant l'objet d'un suivi hydrométrique (DIREN, EDF), etc.,
- travaux de terrain :
 - collecte d'information auprès des élus, responsables locaux, habitants,
 - visite des sources d'une partie du bassin versant en période d'étiage : détermination du contexte d'émergence, jaugeage, mesure des paramètres physico-chimiques de terrain,
 - jaugeages différentiels (jaugeages chimiques et au micromoulinet) sur plusieurs bassins versants (Chapouillet, Rimeize, Mézère, Guitard, Limagnole, Galastre),
- constitution d'une base de données des informations recueillies (données bibliographiques et données recueillies sur le terrain).

Un total de 560 sources captages ou fontaines ont été identifiés sur le bassin versant lozérien de la Truyère. 275 d'entre eux ont été visités au cours de l'été 1998 et ont fait l'objet de mesures. 38 jaugeages ont été réalisés sur les cours d'eau.

Logiquement, le débit moyen des émergences est relativement faible (0,9 m³/h). La conductivité électrique des eaux est peu élevée ; elle est comprise, pour la majorité des points d'eau, entre 15 et 100 µS/cm. Le pH est toujours acide, avec une valeur moyenne inférieure à 6. Ces paramètres sont caractéristiques des sources d'arènes en région de socle.

Ces travaux seront complétés et synthétisés dans le cadre du volet 1999 du projet. Ils permettront de disposer d'une évaluation de la ressource en eau disponible en étiage et de prévoir la possibilité et l'impact de nouveaux prélèvements sur les eaux de surface.

Dans le cadre de travaux de recherche scientifique en cours, les informations hydrologiques recueillies (débits) seront confrontées aux données disponibles à l'échelle des différents compartiments géologiques (lithologie du substratum, nature et épaisseur des altérites, morphologie, fracturation, etc.) afin de mettre au point une méthodologie d'évaluation de la ressource en eau souterraine des régions de socle.

4.2. BILAN ET PROSPECTIVES

Dans le cadre de ce volet du projet, le BRGM a participé aux travaux de recherche et de sélection du consultant et aux réunions de cadrage de cette partie du projet. Il assure également la gestion financière de ce volet de l'opération.

5. Références bibliographiques

BRUEL Th. (1998) - Ressources en Eau de la Margeride Ouest. Identification et analyse des réseaux de fractures sur le bassin versant lozérien de la Truyère et mise en relation avec les états de contraintes actuelles - *Rapport Université de Montpellier II*, 55 p., 27 fig., 25 ph., 1 ann..

CARLIER Ph., POINTET Th. (1991) - Réflexion sur l'hydrogéologie de la zone altérée des massifs cristallins granitiques - *Rapport BRGM R32216*.

DELBOS R. (1986) - Hydrogéologie des milieux fissurés de socle en Haute Vienne. Synthèse des premiers résultats obtenus - *Rapport BRGM 86 SGN 195 LIM*.

DELBOS R. (1988) - Synthèse des données recueillies au cours des campagnes de forages réalisées par la D.D.A.F. de Corrèze (1984-1986) - *Rapport BRGM 88 SGN 966 LIM*.

LAPSCHER S. (1998) - Ressources en Eau Margeride Ouest. Evaluation de la ressource - Rapport de stage 2^{ème} année ISIM, *Département des Sciences et Technologies de l'Eau*, 2 Vol..

LE STRAT P. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Synthèse géologique du bassin versant lozérien de la Truyère - *Rapport BRGM R 40222*, 39 p., 3 fig..

LE STRAT P. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Légende de la carte géologique de synthèse du bassin versant lozérien de la Truyère. Echelle 1/100.000 - *Rapport BRGM R 40223*, 28 p..

Société du Canal de Provence (1998) - Ressources en Eau Margeride Ouest. Bilan et perspectives. Analyse des données & propositions pour l'élaboration d'un schéma directeur. Phase I. Analyse des données - *Rapport SCPid*, juin 1998.

WYNS R. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur) des arènes granitiques du bassin versant Lozérien de la Truyère - *Rapport BRGM R 40191*, 18 p., 9 fig., 4 pl. h.t..

Annexe I

Comptes-rendus des réunions du Comité de Pilotage des 25/03/98 et 23/07/98 (comité technique et comité élargi) et des réunions des 30/07/98 et 4/09/98

Projet « Ressources en eau Margeride Ouest »
Compte rendu du comité de pilotage du 25/03/98

DATE : 25/03/98 10h

LIEU : Hôtel du Département, Mende

OBJET : Comité de pilotage n°1 du projet « Ressources en eau Margeride Ouest »

PARTICIPANTS : MM. GUERIN, COUTAND, LABEAUME (Conseil Général 48),
MM. GAILLAUD, MARCHADIER (Agence de l'Eau Adour Garonne)
M. VION (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt 48)
MM. FOUCHER, LACHASSAGNE (BRGM)

DIFFUSION : participants

1. Déroulement du comité de pilotage

- MM. GUERIN et COUTAND : Accueil des participants et rappel de l'ordre du jour de la réunion :

- présentation des différentes phases de l'étude et calendrier prévisionnel de réalisation,
- définition des modalités de fonctionnement du comité de pilotage.

Le programme technique du projet, tel qu'arrêté dans les convention cadre et convention d'application 1998, a été adressé par le Conseil Général à l'Agence de l'Eau et à la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de la Lozère.

- M. MARCHADIER indique que le projet sera présenté à la prochaine commission des aides de l'Agence (06/98).

- MM. FOUCHER et LACHASSAGNE : présentation du projet (cf. transparents joints au compte rendu) : 1. Cadre géographique (intégralité des communes appartenant en totalité ou pour partie au bassin versant de la Truyère),

2. Objectifs techniques,

3. Intégration du projet dans le cadre des actions de recherche et de développement du BRGM sur la thématique des eaux souterraines en région de socle,

4. Principales phases de réalisation du projet, y compris proposition de date d'achèvement des différentes phases. Pour les principales d'entre elles :

- Comité de pilotage n°2 et définition des sites de prospection : 07/98,
- Fin de la campagne de sondages de reconnaissance « socle » : 08/99,
- Rapport final de clôture du projet : 02/99 soit deux ans après son lancement,

5. Contenu technique de la première phase : volet socle et volet alluvions,

6. Travaux en cours et à lancer à court terme.

- Discussion entre les participants et arrêt des décisions exposées ci-dessous (§ 2.).

2. Décisions prises dans le cadre du comité de pilotage

2.1. Compte rendu du comité de pilotage

Le BRGM établira un compte rendu du comité de pilotage de ce jour. Il le soumettra aux différents participants pour approbation et compléments éventuels avant édition et diffusion définitives.

2.2. Choix du stagiaire chargé de l'évaluation des ressources en eau (été 1998)

Le BRGM a présélectionné un stagiaire (élève 2^{ème} année ISIM) qui pourrait intervenir sur le projet. Le Conseil Général ne dispose a priori pas de candidat potentiel. Il consultera cependant son service du personnel et confirmera cette information au BRGM au plus vite ou lui transmettra d'éventuels CV.

2.3. Recherche d'un consultant pour le volet « bilan et perspectives »

Pour le bon déroulement du projet et en particulier le choix des sites qui feront l'objet de prospections hydrogéologiques, il apparaît urgent d'identifier le consultant susceptible d'assurer le volet « bilan et perspectives » du projet. Le montant financier disponible pour cette intervention, prévue en deux phases principales (cf. cahier des charges), est de 155 KF, dont 80 KF pour la phase 1998.

Les différents services (AE, CG, DDAF, BRGM) adresseront au BRGM (fax 04 67 64 58 51), pour le 3/04/98 au plus tard, une liste d'intervenants potentiels ainsi que des éléments d'appréciation qui pourront guider le choix du consultant (compétences techniques, disponibilité, montant de l'intervention, etc.).

Le BRGM établira un document de synthèse et le soumettra aux membres du comité de pilotage afin que le consultant puisse être choisi de concert avant le 10/04/98.

Une réunion de cadrage de ce volet de l'opération, en présence du consultant retenu, est programmée au Conseil Général à Mende le 22/04/98 à 15h.

2.4. Incitation des exploitants à s'équiper de compteurs volumétriques

Cette action sera menée en deux phases en concertation entre Agence de l'eau, DDAF48 et CG48 :

- phase 1 : envoi d'un courrier générique, co-signé par AE et CG, à l'ensemble des communes et syndicats du bassin versant. L'AE établira un projet de courrier et le transmettra au CG. L'Agence peut financer 70% de l'investissement, le Conseil Général 10% (plafond de subvention 80%),
- phase 2 : relance des communes n'ayant pas répondu, en intervenant en priorité auprès de celles qui auront été définies comme prioritaires par le consultant (cf. § 2.3.).

2.5. Comité de pilotage N°2

Le prochain comité de pilotage aura lieu le jeudi 23 juillet 1998.

Compte tenu de son importance (choix des sites qui feront l'objet des prospections hydrogéologiques prévues en phase 2 du projet), il comportera deux parties :

- matinée : comité de pilotage technique, avec les mêmes services que pour le comité de pilotage de ce jour, afin de préparer la réunion de l'après-midi. Le BRGM se munira des éléments (ordinateur portable, imprimante, etc.) permettant de modifier si nécessaire certains des éléments de la présentation,
- après-midi : comité de pilotage élargi (liste à définir : élus : Conseillers Généraux, maires ; syndicats, etc.) de restitution des résultats de la première phase de l'étude.

2.6. Harmonisation des bases de données et systèmes d'information géographique

Le BRGM indiquera aux membres du comité de pilotage les standards qu'il pense utiliser dans le cadre du projet Lozère ainsi que les logiciels dont il dispose (cf. ci-dessous) afin de vérifier leur compatibilité avec ceux des partenaires du projet.

En retour, ceux-ci indiqueront si nécessaire au BRGM sous quel format ils souhaiteront disposer des données numériques produites dans le cadre du projet.

Par ailleurs, le Conseil Général transmettra au BRGM les informations numériques produites par BRL dans le cadre du projet de rationalisation de la desserte en eau potable du bassin versant de la Truyère.

Outils que le BRGM envisage d'utiliser dans le cadre du projet :

Les documents interprétés sont numérisés au moyen du logiciel Micro-station. Les fichiers ainsi générés sont traités sous Arc-Info afin de générer une topologie et les mettre dans le système de géoréférencement choisi pour le projet (Lambert 3). Les fichiers ainsi traités sont restitués sous Mapinfo afin de réaliser les compositions cartographiques.

Les fichiers peuvent donc être fournis au format numérique sous Mapinfo ou Arc-Info.

2.7. Facturation

La facturation adressée par le BRGM au Conseil Général comprendra un décompte global afin que l'Agence puisse financer sans difficulté sa cote part à hauteur de sa participation à l'ensemble du projet.



P. LACHASSAGNE

P.J. : Transparents présentés par le BRGM (10 p.)

**Projet « Ressources en eau Margeride Ouest »
Compte rendu de la réunion du 30/07/98**

DATE : 30/07/98 9h30-11h15

LIEU : Hôtel du Département, Mende

OBJET : Définition des secteurs à étudier en priorité en phase 2 du projet

**PARTICIPANTS : M. LABEAUME (Conseil Général 48),
MM. CUAZ, GAILLAUD (Agence de l'Eau Adour Garonne)
M. VION (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt 48)
M. BIDEAU (Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales 48)
M. LACHASSAGNE (BRGM)**

DIFFUSION : participants

1. Contexte et objectif de la réunion

La présente réunion fait suite au deuxième comité de pilotage du projet, réalisé sous la forme de deux réunions successives, tenues le 23 juillet 1998, et dont l'objectif était la présentation des résultats de la première phase du projet (identification des zones de tension en termes ressource / besoins par la SCP et carte préliminaire des potentialités en eau souterraine établie par le BRGM) :

- comité de pilotage technique, de 10h à 12h au Conseil Général à Mende, en présence des Services du Conseil Général (MM. GUERIN, BONNAL, COUTAND, LABEAUME), de l'Agence de l'Eau Adour Garonne (MM. CUAZ et GAILLAUD), de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (MM. CHARRADE, FAVRICHON et VION), de la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales (MM. BIDEAU et CADET), de la Société du Canal de Provence (MM. GAUTIER et VACCA) et du BRGM (MM. FOUCHER et LACHASSAGNE), la DIREN étant excusée,
- comité de pilotage élargi aux conseillers généraux, maires et présidents des syndicats d'A.E.P. de la zone d'étude, de 15h30 à 18h à la Mairie du Malzieu. Liste des élus présents : M. ASTRUC Alain (Conseiller Général d'Aumont-Aubrac), M. BOURRIER Jean-Louis (Maire du Malzieu Forain), M. BRUGERON Jean-Noël (Maire et Conseiller Général du Malzieu), M. BRUN Paul (Adjoint au maire St Chély d'Apcher), M. DALLE Marcel (Maire de la Fage Montivernoux), M. DALLE Léon (Maire de Ste Colombe de Peyre), M. DENICOURT Charles (Conseiller Général de St Chély d'Apcher), M. LAURENT Jean-Claude (Maire de St Privat du Fau), M. MEISSONNIER Félix (Maire de St Pierre le Vieux), M. MEYRIAL - LAGRANGE Jean Claude (Maire de St Léger du Malzieu), M. PLAT Raymond (Adjoint au maire d'Aumont Aubrac), M. SARTRE Francis (Maire de la Fage St Julien, Pt du SIAEP du Ru de Fontbelle), M. SOULIER Lucien (Maire de Lajo), M. TARDIEU René (Maire de Les Bessons).

Ces réunions ont été accompagnées de la diffusion, par le BRGM et la SCP, de notes techniques d'avancement.

L'objectif de la présente réunion est de définir, en concertation et sur la base des résultats de cette première phase, les communes ou groupes de communes sur lesquels seront focalisés les travaux prévus dans le cadre des phases ultérieures du projet (prospections hydrogéologiques sur 4 sites « socle » et 2 sites « alluvions »).

2. Relevé de décisions

2.1. Communes retenues (Figure 1)

En première priorité, les secteurs suivants ont été retenus :

Alluvions :

- Le Malzieu ;
- Sainte Eulalie.

Ces deux sites présentent l'intérêt de permettre de caractériser les deux types de formations alluviales (zone des confluences et zone des plateaux de la Margeride) identifiées sur le bassin versant.

Socle :

- Aumont, Javols, La Chaze de Peyre ;
- Saint Chély d'Apcher ;
- Syndicat du Ru de Fontbelle (Termes, Les Monts Verts, La Fage Saint Julien) ;
- Prunières - Saint Chély.

2.2. Méthodologie proposée

Pour chacune des communes (ou groupes de communes) retenues, le BRGM adressera au comité de pilotage une proposition de sites de prospection (d'une superficie unitaire de quelques kilomètres carrés pour le socle), classés par ordre d'intérêt sur des critères d'ordre hydrogéologique et technique (proximité du réseau et des réservoirs de tête existant, mais si possible sur des secteurs ne risquant pas d'influencer le débit des sources déjà captées, vulnérabilité, accessibilité, etc.).

Sur la base de ces données, le comité de pilotage retiendra les sites de prospection.

A cet effet, une réunion est d'ores et déjà programmée pour le 4/09 à 9h30, dans les locaux du Conseil Général, salle Urbain V à Mende.

Compte tenu de la progressivité des prospections en terme de dommages potentiels, les demandes d'autorisation pourraient prendre la forme suivante :

Socle	Alluvions	Démarche
Prospection radon		Courrier au Maire le demandant d'informer les propriétaires des zones concernées
Prospection géophysique		Demande d'autorisation d'accès auprès des propriétaires.
Sondages de reconnaissance	Reconnaitances à la tarière autoportée	Demande d'autorisation écrite auprès des propriétaires (accès au terrain, réalisation de sondages, équipement en piézomètres, essais, suivi, etc.) Recueil, auprès des services correspondant (Eau, PTT, EDF, GDF, etc.) des plans des conduites enterrées

2.3. Documents à recueillir

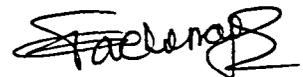
Le BRGM prendra l'attache de la CGE pour recueillir les documents « réseaux » disponibles :

- Saint Chély d'Apcher : plans du réseau,
- Prunières - Saint Chély : plan de l'adduction en provenance de Mialanes,
- Sainte Eulalie : plans du réseau.

Il communiquera la liste des documents recueillis à la DAF pour compléments éventuels.

Pour les autres secteurs, la DAF adressera au BRGM les documents utiles en sa possession, en particulier :

- Aumont, Javols, La Chaze de Peyre : plan du réseau,
- Saint Chély - Le Malzieu : éléments du schéma directeur élaboré il y a quelques années,
- Syndicat du Ru de Fontbelle : plan du réseau et données issues d'un APD.


P. LACHASSAGNE

P.J. : Carte de localisation des secteurs où seront recherchés les sites de prospection socle et alluvions

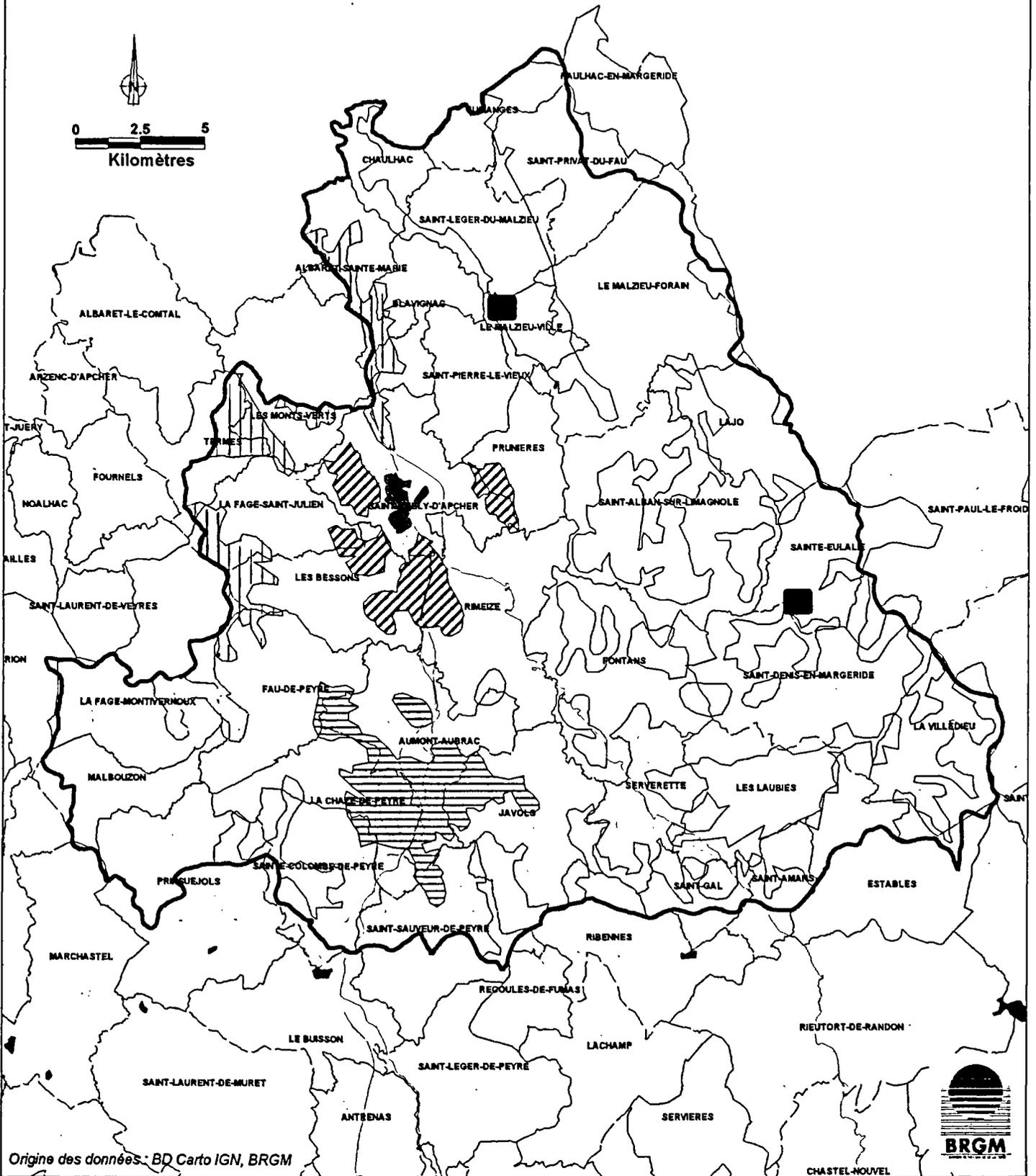
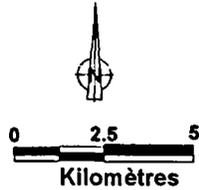
Bassin versant lozérien de la Truyère
Régions retenues pour la recherche de sites de prospection socle et alluvions
(Comité de Pilotage N°2)

Régions retenues pour la prospection
SOCLE

-  Aumont, La Chaze de Peyre, Javols
-  Zone Ouest (Ru de Fontbelle)
-  Rimeize, Les Bessons, St Chely, Prunières

ALLUVIONS

-  Le Malzieu Ville, Sainte Eulalie



Origine des données: BD Carto IGN, BRGM



CHATEL-NOUVEL

**Projet « Ressources en eau Margeride Ouest »
Compte rendu de la réunion du 4/09/98**

DATE : 4/09/98 9h30

LIEU : Hôtel du Département, Salle urbain V, Mende

OBJET : Définition des secteurs à étudier en phase 2 du projet

PARTICIPANTS : MM. ASTRUC, DENICOURT (Conseillers Généraux)
MM. COUTAND, GUERIN, LABEAUME (Conseil Général 48),
M. GAILLAUD (Agence de l'Eau Adour Garonne)
M. VION (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt 48)
M. CADET (Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales 48)
M. LACHASSAGNE (BRGM)

EXCUSES : MM. BRUGERON, MOREL (Conseillers Généraux)
M. CUAZ (Agence de l'Eau Adour Garonne)

DIFFUSION : participants

1. Contexte et objectif de la réunion

La présente réunion avait pour objectif d'examiner les propositions du BRGM en matière de choix de sites de prospection hydrogéologiques sur les secteurs suivants, retenus par le Comité de Pilotage lors de la réunion du 30 juillet 1998 (cf. compte rendu référence DR/HGT Montpellier 127/98 CR PL/pl) :

Alluvions :

- Le Malzieu ;
- Sainte Eulalie.

Socle :

- Aumont, Javols, La Chaze de Peyre ;
- Saint Chély d'Apcher ;
- Syndicat du Ru de Fontbelle (Termes, Les Monts Verts, La Fage Saint Julien) ;
- Prunières - Saint Chély.

2. Relevé de décisions

2.1. Première sélection de sites de prospection

2.1.1. Alluvions

La zone du Malzieu « les Mouteyres », sur la commune du Malzieu Ville (entre le verrou du Malzieu et le pont du Villeret) est retenue par le comité de pilotage.

Le secteur de Sainte Eulalie, choisi le 30/07 pour sa représentativité des formations alluviales des plateaux de la Margeride, est écarté pour le moment au profit d'un site à rechercher dans le secteur de Saint Alban.

Le Conseil Général envisagera la possibilité d'un avenant afin de permettre de quantifier, dans le cadre du projet, la ressources des alluvions de type « Margeride », sur le site de Sainte Eulalie par exemple.

2.1.2. Socle

Parmi les zones de prospection proposées par le BRGM (cf. Tableau joint), le comité de pilotage retient les zones suivantes :

- secteur d'Aumont - Javols - La Chaze de Peyre : **zone Aumont SE** (Lieu-dits : Le Bouchet, Lescurette, le Rescondut, de part et d'autre de la D50, sur les communes d'Aumont Aubrac et de Javols),
- secteur de Saint Chély : **zone Saint Chély SW** (zone comprise entre La Roueyre et Bonnefont, selon une bande perpendiculaire à la D10, sur les communes de La Fage Saint Julien et des Bessons),
- secteur du Ru de Fontbelle : **zone Termes E** (zone comprise entre Fenestres et le Ruisseau des Lavagnes, à l'Ouest de Berc, sur les communes de Termes et des Monts Verts)

Compte tenu de l'absence de secteur d'étude retenu dans la région de la Margeride, le comité de pilotage demande au BRGM de proposer une liste de zones de prospection dans le secteur de **Saint Alban**, au sein de laquelle sera choisi un site en remplacement de celui de Prunières Saint Chély.

2.1.3. Information et demandes d'autorisation

Une fois l'ensemble des sites de prospection retenus, le BRGM proposera au Comité de Pilotage un projet de lettre d'information des maires des communes concernées, présentant le projet ainsi que la stratégie de prospection mise en œuvre et à laquelle sera jointe un plan d'implantation des zones de prospection, afin de recueillir leur avis et de procéder aux demandes d'autorisation nécessaires aux prospections et travaux de forage.



P. LACHASSAGNE

P.J. : Tableau récapitulatif des sites de prospection « socle » proposés par le BRGM sur les secteurs définis par le Comité de Pilotage lors de la réunion du 30/07/98.

Sites de prospection proposés par le BRGM sur les secteurs définis le 30/07/98

Secteur retenu le 30/07/98 (ordre de priorité)	N° du site	Zone	Superficie (km2)	Intérêt (4 = max)			Commentaire Hydrogéologie; Réseau; Protection	
				Total	Hyd.	Rés.		Prot.
Aumont, Javols, La Chaze de Peyre	<u>1</u>	<u>La Fage S</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>2+</u>	<u>1</u>	<u>4</u>	Altérites; accès 2
	2	Aumont SE (A)	3	3	3	4	3	
		St Sauveur N (B)	0.6	1	1	0	3	
		La Chaze W (C)	0.4	1+	1	2	3	
		(D)			0+	3	4	
		(E)			0+	3	4	
	<u>3</u>	<u>Grandviala N (F)</u>	<u>1</u>	<u>2+</u>	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>4</u>	Altérites>20; pente Alt. peu ép.
		<u>Aumont Nord</u>	<u>0.5</u>	<u>2-</u>	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	
Saint Chély d'Apcher	9	St Chely N				2	0	Autoroute Autoroute 4
	<u>4</u>	<u>St Chély S</u>	<u>1.1</u>	<u>2-</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	
	5	St Chély SW	0.4 + 0.4	2	2	3	2	
	6	St Chély NW	0.5 + 0.3	1	1	0	4	
Ru de Fontbelle	7	Termes E	2.8	4	4	3	3	Altérites > 20 m 1
	8	Recoulès	0.6	1	1	3	3	
Prunières - Saint Chély	<u>10</u>	<u>St Chély E</u>	<u>0.6 + 0.2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	3

Critère de choix : un dans chaque secteur retenu

Annexe II

Note technique d'avancement présentée par le BRGM au Comité de Pilotage du 23/07/98

Convention d'assistance scientifique et technique
« Connaissance et aide à la gestion des eaux »
Ressources en Eau de la Margeride Ouest - Bassin de la Truyère
Synthèse des résultats de la première phase (Comité de pilotage du 23/07/98)

P. LACHASSAGNE

SOMMAIRE :

1. Contexte et objectifs du comité de pilotage du 23/07/98.....	2
2. Principaux résultats obtenus.....	2
2.1. Travaux réalisés par la Société du Canal de Provence.....	2
2.2. Travaux réalisés par le BRGM.....	2
2.2.1. Socle.....	2
2.2.2. Formations alluviales.....	5
3. Proposition de sites de prospection.....	6
3.1. Socle.....	6
3.2. Formations alluviales.....	6
4. Autres travaux en cours d'avancement.....	7
4.1. Evaluation de la ressource en eau.....	7
4.2. Bilan et Perspectives.....	7

Nota : les figures et tableaux ci-dessous se trouvent au sein du corps du rapport R40293

LISTE DES FIGURES :

- Figure 1 : Bassin versant Lozérien de la Truyère
- Figure 2 : Epaisseur de la zone fissurée et des altérites
- Figure 3 : Carte des pentes
- Figure 4 : Localisation des sources (carte préliminaire)
- Figure 5 : Géologie : fracturation et lithologie des formations superficielles et du substratum
- Figure 6 : Fracturation : linéaments identifiés sur photographies aériennes IGN
- Figure 7 : Fracturation : hiérarchisation des éléments structuraux en fonction des contraintes tectoniques actuelles
- Figure 8 : Carte préliminaire des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°1
- Figure 9 : Carte préliminaire des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°2
- Figure 10 : Typologie des formations alluviales et hiérarchisation des sites de prospection
- Figure 11 : Zones d'intérêt pour la prospection hydrogéologique du socle

LISTE DES TABLEAUX :

- Tableau 1 : Coefficients de pondération utilisés pour l'élaboration de la carte des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°1
 - Tableau 2 : Coefficients de pondération utilisés pour l'élaboration de la carte des potentialités en eau souterraine du socle. Simulation N°2
-

1. Contexte et objectifs du comité de pilotage du 23/07/98

A la suite de la signature de la convention entre le Conseil Général de la Lozère et le BRGM (20/02/98), le premier comité de pilotage technique du projet (25/03/98), regroupant l'Agence de l'Eau Adour Garonne, le Conseil Général de la Lozère, la Direction de l'Agriculture et de la Forêt et le BRGM, a permis de confirmer :

■ les objectifs :

1. Identification, sur le bassin versant Lozérien de la Truyère (Figure 1), de sites favorables à la prospection de ressources en eau souterraine au sein (i) du socle et (ii) des formations alluviales,
2. Choix d'un consultant pour la réalisation du volet « Bilan et Perspectives » et réalisation de ce travail afin de déterminer, sur le bassin versant lozérien de la Truyère, (i) les secteurs de « tension », par comparaison de la ressource disponible et des besoins en eau et (ii) les points prioritaires pour l'installation de dispositifs de comptage,

- ### ■ les délais de réalisation :
- présentation des résultats de fin de première phase lors du deuxième comité de pilotage du projet, fixé au 23 juillet 1998,
..... de la première phase du projet de recherche.

Les objectifs du deuxième comité de pilotage du projet sont donc :

- de procéder (BRGM, Société du Canal de Provence - consultant retenu pour la réalisation du volet « Bilan et Perspectives » du projet) à une **présentation des résultats obtenus** au cours de cette première phase,
- en confrontant les travaux du BRGM et ceux de SCP, de **définir, en concertation, les sites « socle » (4 sites) et « alluvions » (2 sites) qui feront l'objet des travaux de prospection hydrogéologique** prévus dans le cadre des phases à venir du projet (émanométrie radon et géophysique, puis sondages de reconnaissance, pour le socle, sondages tarière et reconnaissance géologique et hydrogéologique pour les alluvions). Les modalités de recueil des autorisations nécessaires aux prospections hydrogéologiques seront également abordées.

La présente note, remise lors du comité de pilotage du 23 juillet 1998, synthétise l'état d'avancement du projet de recherche à l'issue de cette première phase. Les rapports techniques détaillés correspondant (rapports BRGM et SCP) seront diffusés au Comité de Pilotage dans le courant du mois de septembre 1998.

2. Principaux résultats obtenus

2.1. Travaux réalisés par la Société du Canal de Provence

Les résultats de la première phase du volet « Bilan et perspectives » du projet font l'objet d'une présentation séparée par la SCP.

2.2. Travaux réalisés par le BRGM

2.2.1. Socle

Une sélection de sites et une proposition de classement, par ordre d'intérêt du point de vue de leurs potentialités hydrogéologiques, constituent l'aboutissement des travaux mis en œuvre dans le cadre de la première phase du projet (Figure 11 et § 3.1.). Cette sélection a été déduite de cartes des potentialités en eau souterraine du socle établies à l'échelle du bassin versant lozérien de la Truyère (Figures 8 et 9).

Les modalités d'élaboration de ces cartes et leur analyse sont présentées ci-dessous.

Les cartes des potentialités ont été construites par croisement de données concernant la structure des deux principaux compartiments qui constituent l'aquifère : les altérites et le substratum fracturé. Ces

éléments d'information ont été acquis par une équipe pluridisciplinaire dont les principaux acteurs sont cités ci-dessous.

■ Altérites :

- détermination (Figure 2) de l'épaisseur résiduelle des altérites (entre 0 et 50 m environ) et de celle de la frange superficielle fissurée du substratum rocheux (de 0 à 30 / 40 m d'épaisseur) par modélisation des paléosurfaces d'altération (R. WYNS). Le bassin versant de la Truyère est découpé par des failles en compartiments dont les jeux (jeux relatifs entre compartiments, mouvements de basculement, etc.) ont conditionné l'importance de l'ablation des altérites par l'érosion. Les épaisseurs maximales d'altérites sont observées au droit des bassins sédimentaires tertiaires¹, ainsi que dans les parties « effondrées » des compartiments. Dans les vallées les plus profondément entaillées (cours aval de la Truyère, certains tronçons de son cours moyen et de celui de ses principaux affluents) ainsi que sur les sommets rabotés par l'érosion glaciaire (Margeride, et surtout Aubrac), les altérites et la zone fissurée du substratum ont été totalement érodées. Les observations de terrain complémentaires, qui seront réalisées dans le cadre des phases ultérieures du projet, permettront de préciser cette cartographie à l'échelle de compartiments de petite taille,
- utilisation de la carte des pentes (Figure 3), construite à partir du modèle numérique de terrain (J.F. DESPRATS), pour évaluer l'épaisseur mouillée des altérites. Celle-ci est plus importante dans les zones à faible déclivité que dans les secteurs à forte pente. Les premières seront donc plus favorables du point de vue hydrogéologique.

Ces informations sont complétées par une carte des sources (Figure 4), établie essentiellement à partir des informations bibliographiques disponibles au BRGM (P. BERARD, S. LAPSCHER). Logiquement, la plupart des sources identifiées se situent à flanc de versant, à proximité de l'interface altérites/socle. Cette cartographie sera précisée et complétée (localisation de nouvelles sources, identification du contexte d'émergence, mesure des débits d'étiage, caractérisation physico-chimique) dans le cadre de l'évaluation de la ressource en eau sur le bassin versant, prévue au cours du projet (étiages 1998 et 1999).

■ Substratum :

- établissement (Figure 5) d'une carte géologique synthétique (P. LE STRAT) et analyse de l'aptitude relative des différentes formations géologiques (P. BERARD, A. DUPUY, P. LACHASSAGNE) par synthèse des données hydrogéologiques disponibles (études antérieures, résultats de forages réalisés en Lozère et dans les départements voisins). Les granites porphyroïdes (granites à gros grain) dominent sur le bassin versant lozérien de la Truyère. Ils sont intrudés par de petits massifs de leucogranites caractérisés généralement par une plus faible couverture altéritique. Pour cette raison, ces derniers sont considérés a priori comme relativement moins favorables que les granites porphyroïdes. D'une manière générale, à l'échelle de la Lozère et compte tenu des méthodes d'implantation des forages mises en œuvre lors des travaux antérieurs (photo-interprétation pour l'essentiel), les sondages réalisés au sein de roches métamorphiques (gneiss, micaschistes) semblent montrer des débits plus élevés que ceux obtenus au sein des granites. Au sein de ces derniers néanmoins, plusieurs forages d'exploitation procurent des débits supérieurs à 5 m³/h sur le bassin versant de la Truyère (Albaret Sainte Marie - La Garde - 8 m³/h et 5,5 m³/h, Rieutord de Randon - Coulagnes - 5,1 m³/h),
- analyse et hiérarchisation de la fracturation (Th. BRUEL) : les linéaments (5 principales familles d'orientation) ont été identifiés par photo-interprétation sur photographies aériennes de l'IGN (Figure 6). La qualité des informations recueillies a été vérifiée au moyen de mesures de terrain. Celles-ci ont montré la très bonne concordance entre les

¹ Dans la mesure où le remplissage sédimentaire des bassins tertiaires (constitué d'altérites remaniées par l'érosion) présente une lithologie similaire à celle des altérites, l'épaisseur des sédiments a été intégrée à celle des altérites.

orientations des familles de linéaments et celles des fractures observées sur affleurements (qui coïncident également avec les informations déduites de la carte géologique et du Modèle Numérique de Terrain). L'intérêt des différentes familles de fractures a été hiérarchisé en fonction de leur orientation par rapport aux contraintes tectoniques actuelles (Figure 7) : les fractures les plus favorables a priori ($N125^{\circ}E \pm 10^{\circ}$) sont légèrement obliques par rapport à l'axe de la contrainte principale ($N140$ à $150^{\circ}E$) ce qui autorise conjointement dilatance et mouvement relatif des deux lèvres (en décrochement). L'aptitude des différentes fractures diminue lorsqu'elles s'éloignent de cette orientation ($N150^{\circ}E$ pour les plus favorables, $N000^{\circ}E$, $N30^{\circ}E$). Elle est minimale pour la famille de fractures perpendiculaires à la contrainte principale ($N55^{\circ}E$).

Ces informations ont été complétées par la valorisation du fond géochimique de l'inventaire minier national (L. CHERY) afin de procéder à une évaluation de la qualité prévisionnelle des eaux souterraines vis à vis de la présence d'une minéralisation anormale en métaux (Arsenic, Baryum, Zinc, Plomb, Antimoine) liés à des gisements métalliques. Bien que les données disponibles ne concernent que les bordures du bassin versant, elles suggèrent que le secteur d'étude est potentiellement peu affecté par ce phénomène (les zones de contact entre le corps granitique de la Margeride et son encaissant métamorphiques sont plus vulnérables que le cœur du laccolithe). Il conviendra cependant de conserver une certaine vigilance, en particulier vis à vis du paramètre « Arsenic ».

Cette analyse purement technique sera complétée, dans le cadre du comité de pilotage, par la prise en compte de critères de type socio-économique (contraintes en terme d'adéquation ressource/besoins, de proximité des lieux de consommation, des adductions existantes, etc.).

Plusieurs cartes préliminaires des potentialités en eau souterraine ont été établies par analyse multicritères, au moyen du logiciel « Synergis », en pondérant les différents éléments d'information présentés ci-dessus (J.F. DESPRATS, P. LACHASSAGNE ; digitalisation : J.L. IZAC). Deux d'entre elles (Figures 8 et 9) sont présentées. Elles ont été établies avec deux jeux différents de coefficients de pondération (Tableaux 1 et 2) privilégiant respectivement (1) l'épaisseur de la couverture altéritique (poids 40%) et la nature lithologique du substratum (poids 30%) et (2) l'orientation de la fracturation (poids 40%) et la carte des pentes (poids 30%). Les potentialités en eau souterraine sont exprimées sur une échelle relative comprise entre 0 et 1, les secteurs étant d'autant plus favorables que leur note est élevée. Les formations sédimentaires des bassins Oligocènes² et les formations volcaniques n'ont pas été prises en considération dans le cadre de cette analyse.

Cette cartographie des potentialités présente un caractère préliminaire. Les paramètres pris en considération ainsi que les critères de pondération pourront en effet être complétés et/ou précisés au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles informations, dans le cadre des phases ultérieures du projet en particulier (travaux de terrain, prospections hydrogéologiques, forages, cartographie de la ressource en eau souterraine, etc.). Une cartographie révisée sera donc proposée à l'issue du projet.

D'une manière générale, les deux cartes présentent de grandes tendances similaires qui privilégient les secteurs à bonne couverture altéritique, faible pente et lithologie considérée comme favorable.

Appréhendée de manière globale, cette cartographie permet d'opposer des secteurs plutôt favorables vis à vis de la ressource en eau souterraine au sein du socle (cf. 3.1.) et des secteurs sensiblement plus défavorables : basse vallée de la Truyère, zones d'altitude de l'Aubrac et de la Margeride, zones de leucogranites, en particulier dans le secteur de Prunières - Saint Pierre le Vieux - Le Malzieu Forain, etc..

² Le remplissage des bassins tertiaires, constitué essentiellement d'altérites remaniées, présente globalement une faible perméabilité, similaire à celle des altérites en domaine de socle. Dans ce contexte, il conviendrait donc d'exploiter leur substratum fissuré et fracturé. Pour des raisons économiques (coût des forages) et techniques (méthodes d'implantation des ouvrages), cela pourrait être envisagé en bordure de bassin, principalement côté Ouest, dans les secteurs où le substratum est présent à faible profondeur (moins de 50 m).

Dans le détail, elle montre de fortes hétérogénéités qui suggèrent, ce qui est logique dans le cas de formations de socle, que des configurations favorables à très favorables peuvent être mises en évidence sur la quasi totalité des territoires communaux.

2.2.2. Formations alluviales

Une carte de l'aptitude des formations alluviales du point de vue hydrogéologique a été établie (Figure 10) à partir des données disponibles sur les cartes géologiques et topographiques, des photographies aériennes et surtout au moyen d'observations de terrain (P. LE STRAT).

Ce travail montre que, depuis le Plio-Quaternaire, la rivière s'encaisse dans son substrat par l'intermédiaire de formes plus ou moins méandrées surimposées. Le second résultat de cette étude est de souligner que la dynamique générale du système est en régression généralisée. C'est à dire que pour atteindre son profil d'équilibre, la rivière va avoir tendance à éroder depuis son niveau de base le plus bas (c'est à dire à l'aval de la rivière) jusqu'à son niveau le plus haut (c'est à dire à l'amont). Cette dynamique va se produire par étapes successives, justifiées par la présence de verrous tectoniques ou lithologiques qui agissent comme autant de « marches d'escalier ». Le système voit donc une certaine quantité d'altérites siliceuses, en provenance du socle de la Margeride, transiter par son réseau fluvial.

Le système alluvial de la Truyère apparaît ainsi comme distribué suivant trois grands secteurs géographiques, en fonction de niveaux de base du fleuve différents suivant les zones, commandés par ces verrous. Les niveaux de base sont de « plus en plus bas » depuis l'amont vers l'aval, c'est à dire que la rivière s'encaisse de plus en plus profondément au passage des verrous. Cette disposition détermine plusieurs zones géographiques qui sont, de l'aval vers l'amont (Figure 10) :

- la basse vallée de la Truyère, en aval du premier verrou tectonique et lithologique du Malzieu Ville. C'est là que la rivière est la plus encaissée et que l'érosion est la plus forte. Le système est en transit complet. Les sédiments ne sont qu'à peine préservés dans les rives convexes des méandres. **Les systèmes alluvionnaires sont extrêmement réduits,**
- la moyenne vallée de la Truyère ou « zone des confluences » est la plus favorable au stockage des sédiments alluviaux, en amont des verrous tectoniques et lithologiques. Elle comprend les **systèmes alluvionnaires les plus développés**. La remontée du niveau de base dans ces secteurs favorise la préservation des sédiments (c'est le cas des bassins tertiaires, notamment celui du Malzieu Ville). Dans ces secteurs favorables, les systèmes fluviaux ont tendance à méandrer et à perdre leur charge minérale, alors que dès que la pente devient plus importante, le système redevient droit et suffisamment dynamique pour transporter les sédiments. Les zones les plus favorables à leur piégeage, se situent à la confluence de deux rivières, directement en amont des verrous tectoniques ou lithologiques. Sur le terrain, il convient de choisir les zones de la vallée les plus larges, avec des pentes du substratum suffisamment fortes pour augmenter les dépôts centres,
- les hautes vallées (de la Truyère et de ses affluents), au sein desquelles deux secteurs peuvent être individualisés :
 - à l'Ouest, la zone des plateaux de l'Aubrac qui, du fait de l'érosion glaciaire, ne montre pas de reliefs accusés et comporte surtout très peu d'altérites résiduelles. Le transit sédimentaire est de ce fait faible et la sédimentation sur ces bassins alluviaux, toujours en amont de verrous, est essentiellement tourbeuse. Les systèmes alluvionnaires y présentent très vraisemblablement une **faible perméabilité** (dominante argileuse et tourbeuse),
 - à l'Est, les reliefs de la Margeride. Les zones intéressantes sont toujours à l'amont de verrous tectoniques ou lithologiques. Les pentes sont ici suffisamment fortes pour à la fois développer des systèmes fluviaux droits et le transit d'altérites siliceuses. Les zones d'accumulation, bien que partiellement tourbeuses, comportent suffisamment d'altérites pour former des **systèmes alluvionnaires intéressants**. Là encore, les meilleurs sites se situent au droit des plus grandes largeurs de la vallée en amont des verrous, là où les dépôts centres sont les plus importants.

3. Proposition de sites de prospection

3.1. Socle

L'analyse des cartes des potentialités (Figures 8 et 9) permet de proposer la liste des zones d'intérêt suivantes (Figure 11), sur des critères purement hydrogéologiques :

- (1) secteur conjoint aux communes d'Aumont, La Chaze de Peyre, Javols,
- (2) secteur conjoint aux communes des Laubies et de Serverette,
- (3) limite ouest du bassin versant, en amont des communes de La Fage Montivernoux, Les Bessons, La Fage Saint Julien, Thermes, Les Monts Verts, Saint Chély, Blavignac, Albaret Sainte Marie,
- (4) massifs isolés sur les communes de Rimeize et Les Bessons, Saint Chély d'Apcher et Prunières ; le secteur semblant le plus intéressant étant celui de Les Bessons - Rimeize, centré sur un petit bassin sédimentaire,
- (5) pourtour des bassins de Saint Alban sur Limagnole (y compris massif isolé à l'Est de Saint Alban) et prolongation sur Lajo ; dans une moindre mesure, bassin du Malzieu, le secteur de Chaulhac et Julianges semblant le plus intéressant,
- (6) limite sud du bassin versant sur les communes de Sainte Colombe de Peyre, Javols, Ribennes, Saint Gal, Saint Amans.
- (7) crête de la Margeride sur les communes d'Estables, La Villedieu, Sainte Eulalie - Lajo, Le Malzieu Forain,
- (8) massifs isolés sur les communes de Fontans, Saint Denis et Rimeize.

L'ensemble de ces zones présentent des épaisseurs significatives d'altérites, sont caractérisées, sur la majorité de leur superficie, par des pentes relativement faibles, et évitent les massifs de leucogranites. La plupart d'entre elles renferment des linéaments d'orientation favorable à proximité desquels pourront être focalisés les travaux de prospection à venir.

Comme indiqué plus haut, des sites également favorables, mais de plus faible extension, peuvent être identifiés sur la quasi totalité des communes du bassin versant lozérien de la Truyère.

3.2. Formations alluviales

Deux catégories de sites, correspondant aux deux principaux types de configurations favorables identifiées (Figure 10) sont proposées pour faire l'objet des prospections hydrogéologiques expérimentales :

- zone des confluences, la plus favorable :
 - Le Malzieu Ville,
 - Saint Alban,
 - Chinchaze (C^{ne} de Saint Alban),
 - Le Rouchat (C^{ne} de Rimeize),
 - Javols,
- zone de la Margeride, sensiblement moins favorable :
 - Sainte Eulalie,
 - Saint Denis,
 - La Villedieu.

Cette liste n'est pas limitative, mais correspond aux systèmes les plus évidents et les plus accessibles. A titre expérimental, il serait intéressant de reconnaître un site dans chacun de ces contextes. La campagne de sondages de reconnaissance sera précédée de contrôles de terrain destinés à préciser l'implantation exacte des sondages.

4. Autres travaux en cours d'avancement

4.1. Evaluation de la ressource en eau

Comme prévu au cahier des charges, la première phase du travail d'évaluation de la ressource en eau a débuté au cours de l'étiage 1998, avec la collaboration d'un stagiaire de l'ISIM Montpellier (S. LAPSCHER).

Les principaux travaux suivants sont en cours de réalisation :

- recensement des données hydrologiques disponibles et préparation et organisation du travail de terrain : localisation des principaux points d'eau et captages connus (cf. Figure 4) (données BRL, DIREN, DDASS, DAF, interrogation des services communaux, banque du Sous Sol, analyse des cartes topographiques, etc.), recueil et analyse des mesures ponctuelles de débit (DIREN en particulier), des chroniques hydrométriques disponibles sur la Truyère (DIREN, EDF), etc.,

- travaux de terrain :

- établissement d'une fiche pour chacun des points d'eau identifié, sur le modèle de la Banque de Données " Eau " du BRGM : localisation géographique, contexte géologique, morphologique, hydrogéologique, occupation du sol sur le bassin versant proche et éloigné, etc., modalités éventuelles de captage, exploitant éventuel, etc.,

- jaugeage en période d'étiage (mi juillet - mi septembre) et mesure des paramètres physico-chimiques de terrain (température, conductivité électrique, pH),

- intégration des données recueillies au sein de la Banque de données " Eau " et du SIG développé dans le cadre du projet,

- synthèse et interprétation des données, une fois replacées dans leur contexte hydro - météorologique (pluviométrie, débit aux stations hydrométriques du bassin).

Les mesures sur les sources sont complétées par des jaugeages différentiels sur les cours d'eau destinés à apprécier la productivité relative des différentes parties du bassin versant.

Les informations recueillies permettront de disposer d'une évaluation de la ressource en eau qui pourra être confrontée à l'approche « potentialités en eau souterraine » à l'échelle des différents compartiments géologiques (géologie du substratum, nature et épaisseur des altérites, etc.) identifiés d'autre part.

4.2. Bilan et Perspectives

Dans le cadre de ce volet du projet, le BRGM a participé aux travaux de recherche et de sélection du consultant et aux réunions de cadrage de cette partie du projet. Il assure également la gestion financière de ce volet de l'opération.

Annexe III

Caractéristiques des sondages et forages d'eau réalisés au sein des formations de socle en Lozère

Année de réalisation	Commune	Lieu dit	Désign.	Indice BSS	X	Y	Z	Prof. totale (m)	Débit		Epaisseur		Lithologie	Direction linéaments proches
					Lambert III sud (km)	(km)	m NGF		Air Lift (m3/h)	Pompage (m3/h)	recouvrement (m)	altérites (m)		
1979	FONTANS	Truc de Montch.	FP1		682.40	271.64	990	31	3.7	1.6	2	5.5	granite	N60
1979	FONTANS	Truc de Montch.	FF1		682.40	271.64	990	22	1.8	1.6	4	6	granite	N160
1979	FONTANS	Le Bès	FP2		684.37	271.27	1048	31	(10)		10	6	granite gris	N50/N160
1979	FONTANS	Truc de Bergoug.	FP3		683.15	272.46	1068	31	0		1	1.5	granite	N160
1979	FONTANS	Malavielllette	FP4		681.92	267.22	1022	31	0		4	3	granite	N60
1979	SERVERETTE	Rayrols	SP1		682.48	268.93	1000	34	0		4	15	granite	N70/N170
1979	SERVERETTE	La Vierge	SP2		682.93	267.29	1030	31	0		0	4	granite	N30
1979	SERVERETTE	Prévala	SP3		684.10	267.22	995	31	0.8		4	18	granite	N170
1979	ST-ALBAN	La Malige	SAP1		687.04	274.58	1130	40	1.9	0.8	4	24	granite gris	N0
1979	ST-ALBAN	Le Viala	SAP2		685.70	273.50	1055	31	3.6		1	12	granite gris	N160
1979	ST-ALBAN	Le Rouget	SAP3		684.52	278.77	1095	28	0		5	-	argiles gréseuses	N0
1979	ST-ALBAN	Ferluc	SAP4		683.75	280.05	1045	31	0		0	10	granite	N45
1979	ST-ALBAN	Chinchazes	SAF1		684.94	275.78	972	40	0.1		12	9	granite beige	N170
1979	ST-GERMAIN-du-TEIL	Puech Escudelou	SGTP1		666.05	245.52	960	19	36		4	6	gneiss	N20/N140
1979	ST-GERMAIN-du-TEIL	Puech Escudelou	SGTF1		666.05	245.52	960	31	29	5 à 15	4	7	gneiss	N20/N140
1979	ST-GERMAIN-du-TEIL	La Viole	SGTP2		666.46	243.64	820	31	0.9		0	0	gneiss	N0
1980	GABRIAS	Goudard	P1	08626X0012	622.20	249.05	961	40	0		3	6	micaschistes	N40/N150
1980	GABRIAS	Chanteruéjols	P2	08622X0009	684.72	252.24	1018	37	(5 à 7)		9	11	mic. et quartzites	N165
1980	GABRIAS	Couderc	P3	08622X0008	684.81	252.00	1050	25	0.3		3.5	4.5	micaschistes	N165/N25
1980	MONTRODAT	Vimenet	P4	08622X0007	679.42	253.53	922	40	0.3		6	14	micaschistes	N005/N145
1980	MONTRODAT	Pigeonnier	P5	08622X0006	679.33	251.14	725	36	(10)		20.5	8.5	calc. et micasch.	N120/N40/N0
1980	MONTRODAT	Pigeonnier (bis)	F1	08622X0006	679.33	251.14	725	39	(6)	4.4	20.5	8.5	calc. et micasch.	N120/N40/N0
1980	RIEUTORT-DE-RANDON	Bque de Fumas	P6	08623X0003	691.02	257.54	1208	32	0			4	granite porph.	N20/N70/N120
1980	RIEUTORT-DE-RANDON	Coulagnes B.	P7	08387X0003	690.65	260.76	1120	63	3.6		2	38	granite macrogr.	N60/N150/N0
1980	RIEUTORT-DE-RANDON	Coulagnes	F2	08387X0004	690.65	260.76	1120	80	9.5	5.1	2	38	granite macrogr.	N60/N150/N0
1980	AUMONT-AUBRAC	Planes	P8	08381X0006	674.99	271.00	1000	50	2.7		2	8	granite macrogr.	N70
1980	AUMONT-AUBRAC	La Croix	P9	08385X0006	675.53	267.80	1036	50	1.9		2	16.5	granite macrogr.	N15
1980	AUMONT-AUBRAC	Grandviala	P10	08385X0007	672.93	268.26	1027	36	0			9.5	granite porph.	N30
1980	AUMONT-AUBRAC	Beauregard	P11	08378X0001	669.59	268.75	1110	30	0		4	7	microgranite	N45
1980	AUMONT-AUBRAC	Les 4 Chemins	P12	08378X0002	712.97	270.07	1076	90	1		0.5	25.5	granite macrogr.	N20
1980	AUMONT-AUBRAC	Villerosset	P13	08378X0003	668.78	266.86	1150	45	0.7		0.5	28.5	granodiorite	N130
1980	CLAMOUSE	Les Braux	P14	08396X0001	712.97	270.07	1076	45	0.8		0.5	19.5	granite macrogr.	N175/N25
1980	CLAMOUSE	Stade	P15	08397X0202	714.62	268.47	1096	36	3		3	16	granite macrogr.	N005/N45/N150
1980	CLAMOUSE	Bournassou	P16	08396X0002	713.11	269.84	1075	13.5	0		2	3	granite macrogr.	N140
1980	CLAMOUSE	Chastanier	P17	08396X0003	712.38	270.42	1074	72	1.8		3	18.5	granite macrogr.	N15/N140
1980	CLAMOUSE	Fraisse	P18	08397X0203	715.54	269.28	1030	21.5	(3)		3	7	granite macrogr.	N25/N145
1980	CLAMOUSE	Bessettes	P19	08392X0001	712.68	272.58	1000	54	(20)		3	8	granite macrogr.	N35/N170
1987	ARCOMIE	Les Padéles	F1	08145X0039	673.74	284.21	1071	32	4.5	6.5	0	12	leucogranite	
1987	ARCOMIE	Les Combelles	F2	08145X0055	673.29	283.40	1049	48	< 1	n.é.	4	42	leucogranite	
1990	ALBARET-STE-MARIE	La Garde	LG1E	08145X0050	672.62	285.76	1090	35	7.3	5.5	0.5	> 35	granite	N70/N105
1990	ALBARET-STE-MARIE	La Garde	LG2W	08145X0051	672.15	285.91	1067	57	9	8.3	1	53	granite	N20/N50
1991	ARCOMIE	Bergognon	FBER	08145X0040	672.84	282.88	1060	60	1.6	équipé	3	42	granite gris	N80/N140
1991	ALBARET-STE-MARIE	Font Bata	FC1	08145X0041	673.42	284.70	1077	72	1.2	n.é.	0	69	granite	N10-20/N80
1991	ALBARET-STE-MARIE	R. Blanc Sud	FC2	08145X0042	672.92	284.50	1105	81	0.8	n.é.	1	37	granite rouge	N20/N90/135
1991	ALBARET-STE-MARIE	RN9	FC3	08145X0043	672.90	283.04	1057	72	1.2 (artésien)	n.é.	0	67	granite et quartz	N10/N20/N80
1991	ALBARET-STE-MARIE	Carrière	FC4	08145X0044	672.88	284.78	1130	(81) 43	>> 5	3.5	0	> 81	quartz et granite	N20/N160

Annexe 3 : Caractéristiques des sondages et forages d'eau réalisés au sein des formations de socle en Lozère

Annexe IV

Analyses chimiques disponibles pour les teneurs en métaux des sources du bassin versant lozérien de la Truyère

																chimie									
	Dénomination	COMMUNE	Lieu-dit	Nom ouvrage	code BSS	coord. X (km)	Y (km)	Z(m)	Mesures date	t°(°C)	Cond. (µS/cm)	pH	O2 dis mg/l	SO4 mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Pb µg/l	Se µg/l	As µg/l	Ba µg/l	B µg/l	Sb µg/l		
1	Prise d'eau de Mialanes	Le Malzieu-Forain	Montagne de	ruisseau part	814.7	686.12	3285.73	1360	03/06/98 13/08/97	17.6 16.3	28 36	6 6.06	12.4 8.1	2 1	0.4 0.6		<0.05 <0.02	3 <5	<2 <5	<5 5	<25 10		144		
2	Caplage Margeride 8-9	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 8	814.7.211	686.13	3287.08	1435	26/05/97	6.5	32	8.04	11.4	3	<0.2		<0.02	<5							
3	Caplage Margeride 8-9	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 9	814.7.210	685.87	3286.95	1410	30/07/98	6.4	16.9	5.81													
4	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 5	814.7.208	686.70	3286.23	1398	26/05/97	6	40	5.75	9.4	2	<0.2		<0.02	<5							
5	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 5	814.7.208	686.70	3286.23	1398	30/07/98	6.9	26.4	5.9													
6	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 5	814.7.208	686.70	3286.23	1398	30/07/98	7.5	16.2	5.94													
7	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 3	814.7.203	686.91	3286.13	1403	14/02/93	6.1															
8	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 3	814.7.203	686.91	3286.13	1403	30/07/98	6.9	23.6	5.88													
9	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 3	814.7.203	686.91	3286.13	1403	30/07/98	7.6	39.3	6.01													
10	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 4	814.7.206	687.01	3286.16	1408	14/02/93	6.5	20														
11	Caplage Margeride 3-4-5	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 4	814.7.206	687.01	3286.16	1408	30/07/98	7.2	32.1	5.1													
12	Caplage Margeride 6-7	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 7	814.7.209	686.47	3287.17	1440	30/07/98	6	14.1	5.77													
13	Caplage Margeride 6-7	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 7	814.7.209	686.47	3287.17	1440	30/07/98	6	14.1	5.77													
14	Caplage Margeride 6-7	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes	814.7	686.57	3286.05	1385	30/07/98	7.1	20.7	5.5													
15	Caplage Margeride 6-7	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 6	814.7.205	686.60	3286.80	1418	26/05/97	5.8	31	5.94	11.8	1	<20		<0.02	<5		<5					
16	Caplage Margeride 6-7	Le Malzieu-Forain	Montagne de	Mialanes 6	814.7.205	686.60	3286.80	1418	30/07/98	6.6	18.2	6													
17	Source Rouveyret	Blagnac	Combe Méjo	Rouveyret 2	814.5.45	673.17	3284.18	1078	25/05/93	9	43	5.66	10.1	2.4	0.12			<5	<5	<5			<5		
18	Source Rouveyret	Blagnac	Combe Méjo	Rouveyret 1	814.5.57	673.18	3284.25	1085																	
19	Source Rouveyret	Blagnac	Combe Méjo	Rouveyret 3	814.5.27	673.20	3284.05	1070																	
20	Source Carbonnier Nord	Les Monts Verts		Carbonnier	814.5.32	672.42	3285.25	1070	mai-93	9.4	204	5.5	11.7	0.5	<0.02			<5	<5	<5			<5		
21	Source Herbouze	St Chely d'Apcher		Gnestoux	813.8.203	670.99	3282.25	1090	25/05/93	9.1		5.75						<5	<5	<5			<5		
22	Source d'Espouzolles	St Chely d'Apcher	Goutillière	Goutillière S	838.1.21	677.71	3278.02	1050	25/05/93	8.7	40							<5	<5	6			<5		
23	Source d'Espouzolles	St Chely d'Apcher	Goutillière	Goutillière S	838.1.21	677.71	3278.02	1050	19/08/98	14.3	43.3	6.19													
24	Source d'Espouzolles	St Chely d'Apcher	Goutillière	Goutillière N	838.1.22	677.78	3278.12	1070	?	7.7	30														
25	Source d'Espouzolles	St Chely d'Apcher	Goutillière	Goutillière N	838.1.22	677.78	3278.12	1070	19/08/98	14.3	43.3	6.19													
26	Source de Sarroul	St Chely d'Apcher	Sarroul	Fournios	838.1.20	672.35	3279.93	1065	25/05/93	9		5.48						<5	<5	<5			<5		
27	Source de Sarroul	St Chely d'Apcher	Sarroul	Fournios	838.1.20	672.35	3279.93	1065	07/08/98	9.2	55.4	5.77													
CGE SAINT ALBAN																									
28	Caplage Ste Eulalie	Ste Eulalie		caplage riviè	838.3	690.25	3277.20	1265	26/05/97	10.4	32	6.69	9.1	3	0.06		<0.02	<5	<5	<5	7		<25		
29	Caplage Ste Eulalie	Ste Eulalie		caplage riviè	838.3	690.27	3277.20	1265	13/03/97	6.1	22	6.56	10	6	0.04		<0.02	<5	<5	<5	<5		<25		
30	Cigale (approx.)	Cigale (approx.)			687.92	3274.74	1155		02/06/93	8.9	24	6.57	8.9		0.19	0.02	<0.02	<5	<5	<5	<5	40			
									13/06/94	8.7	31	7.05	9		0.1	<0.02	<0.02	<5	<5	<5	8	<25			
									18/08/94	11.2	28.6	6.64			0.55	<0.02	<0.02	<5	<5	5	<5	<25			
									01/06/95	10.3	24	6.83	10.5		0.21	0.03	0.04	<5	<5	<5	<5	<25			
									18/09/95	13.1	36	6.55	8.6	4.3	0.23	<0.02	<0.02	<5	<5	<5	7				
RU DE FONTBELLE																									
31	Chapalarat	La Fage St Julien		Chapalarat 2	837.4.32*	667.26	3276.23	1200	10/08/98	7.6	39.7	5.51													
32	Chapalarat	La Fage St Julien		Chapalarat 1	837.4.29	667.26	3276.32	1203	14/12/70																
33	Chapalarat	La Fage St Julien		Chapalarat 1	837.4.29	667.28	3276.32	1203	10/08/98	8.4	36.9	5.53													
	Chapalarat indéterminé								12/06/95	7.4	45	6.33	8.8	4		<0.02	<0.02	<5							
									02/06/93	7.8	48	5.9	8.9	3.3	0.02	0.03	<0.02	<5							
MALZIEU VILLE																									
34	Brassalière	Le Malzieu-Forain		Brassalière	814.6.15	684.30	3290.25	1360	14/04/97	5.7	24	6.1	10.3	10	0.03	<0.02	<0.02	<5							
									10/03/97	7.1	24	5.74	9.4	3	<0.02	<0.02	<0.02	<5	<5	<5			<5		
35	Fabre	Le Malzieu-Forain		Fabre	814.6.8	684.40	3289.35	1340	14/04/97	6	24	6	10.5	12	<0.02	<0.02	<0.02	<5							
36	barraque Bastard	Le Malzieu-Forain		Bastard	814.6.10	684.66	3288.78	1348	12/06/95	6.2	23	6.35	8.1		<0.02	<0.02	0.02	<5							
	collecteur des 3 sources								31/03/98	21	5.6			2	0.09	<0.05	<0.05	3							
AUMONT - JAVOLS - LA CHAZE																									
37	Las Corcelière	La Chaze de Peyr	Las Corcelières		837.8.15	668.78	3267.97	1124	29/07/98	12.2	33.8	6.08													
									18/09/95	9.9	54	6.5	8.9	3.1	1.4	<0.02	<0.02	<5	<5	<5	16		108		
									12/06/95	8.2	49	6.3	8.1	3.6	0.05	0.03	<0.02	<5	<5	8	12		<25		
									13/06/94	9.5	46	6.07	8.6	5.3	0.04	<0.02	<0.02	<5	<5	5	5		<25		
	source de Riou Frech								14/04/97	6.5	44	5.91	8.9	3	0.03	<0.02	<0.02	<5							
									18/08/94	16.3	41	6.62	5.8	3	1.2	<0.02	<0.02	<5	<5	14			34		
									02/06/93	10.3	45	5.91	8.3	3.9	0.34	<0.02	<0.02	<5	<5	<5	18		30		
	prise en rivière Riou Frech								14/04/97	7.3	40	6.73	10.5	12	0.31	<0.02	<0.02	<5	<5	6	12		39		

Annexe V

BRUEL Th. (1998) - Ressources en Eau de la Margeride Ouest. Identification et analyse des réseaux de fractures sur le bassin versant lozérien de la Truyère et mise en relation avec les états de contraintes actuelles - Rapport Université de Montpellier II, 55 p., 27 fig., 25 ph., 1 ann..



Université Montpellier II
Laboratoire de Géophysique et Tectonique
pour le compte du **B.R.G.M.**



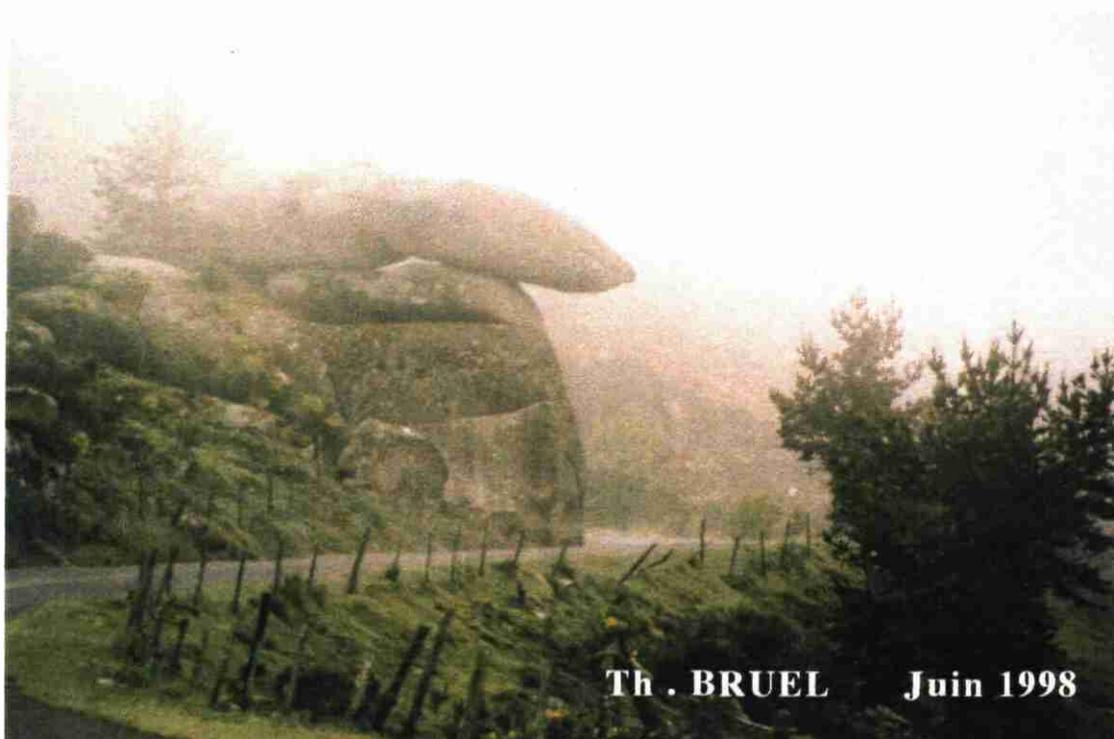
Ressources en eau de la Margeride Ouest (bassin de la Truyère).

Première phase :

**Identification des différentes formations aquifères.
Sélection de secteurs de prospection hydrogéologique.**

Intervention de l'Université Montpellier II :

**Identification et analyse des réseaux de fractures
sur le bassin versant lozérien de la Truyère
et mise en relation avec les états de contraintes actuelles.**





Université Montpellier II
Laboratoire de Géophysique et Tectonique
pour le compte du **B.R.G.M.**



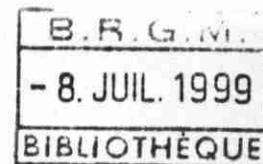
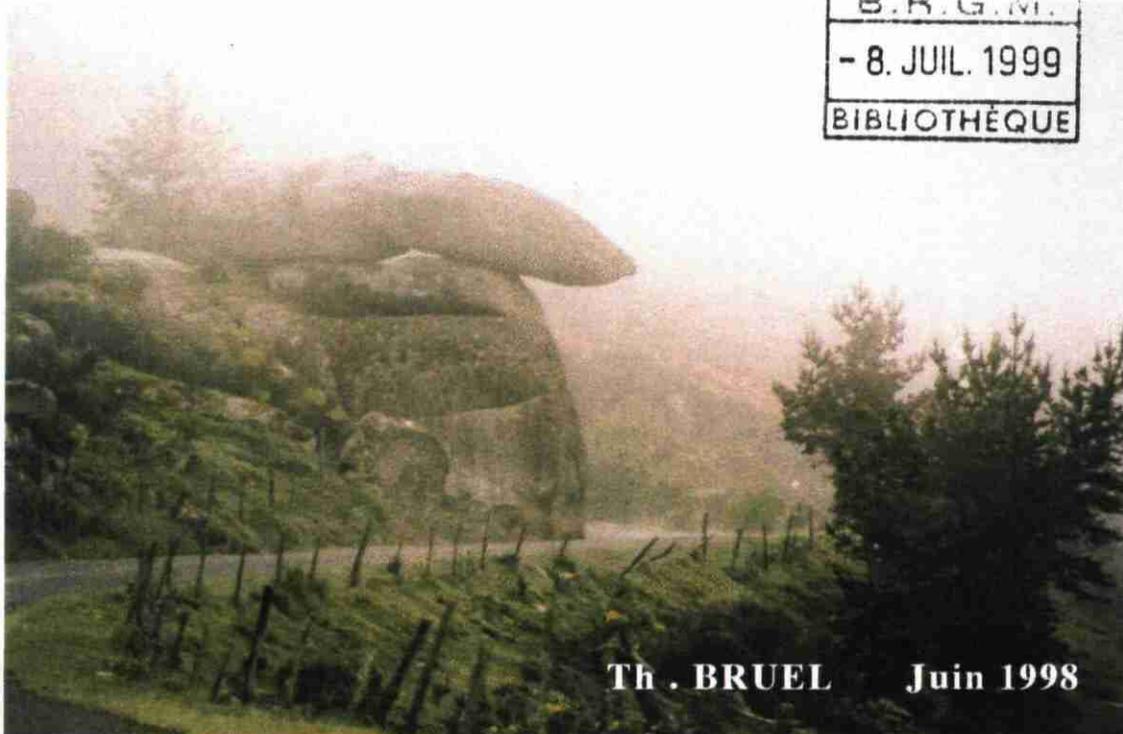
Ressources en eau de la Margeride Ouest (bassin de la Truyère).

Première phase :

**Identification des différentes formations aquifères.
Sélection de secteurs de prospection hydrogéologique.**

Intervention de l'Université Montpellier II :

**Identification et analyse des réseaux de fractures
sur le bassin versant lozérien de la Truyère
et mise en relation avec les états de contraintes actuelles.**



Th . BRUEL Juin 1998

Ressources en eau de la Margeride Ouest, bassin de la Truyère.

Première phase

Identification des différentes formations aquifères.
Sélection de secteurs de prospection hydrogéologique.

Intervention de l'Université Montpellier II :

**Identification et analyse des réseaux de fractures
sur le bassin versant lozérien de la Truyère (Lozère)
et mise en relation avec les états de contraintes actuelles.**

Sommaire

<i>Introduction</i>	p. 7
I - Synthèse bibliographique :	p. 8
I. 1 - <u>Cadre géologique de la Margeride (Lozère)</u> :	p. 8
I. 2 - <u>Cadre hydrogéologique de la Margeride (Lozère)</u> :	p. 10
I. 3 - <u>Le champs de contrainte régional de la Lozère</u> :	p. 11
- <i>les paléocontraintes :</i>	
- <i>les contraintes actuelles :</i>	
I. 4 - <u>Notions sur les relations "fractures-fluides-contraintes"</u> :	p. 13
- <i>effets des contraintes sur l'ouverture des fractures :</i>	
- <i>contraintes régionales et contraintes locales :</i>	
- <i>effets des fractures sur les contraintes :</i>	
• faille isolée :	
- <u>évolution des contraintes suivant l'orientation de la faille :</u>	
- <u>influence de l'ouverture (friction) :</u>	
• relais compressif :	
- <u>évolution des contraintes suivant l'orientation du relais :</u>	
- <u>influence de l'ouverture (friction) :</u>	
- <u>influence du rapport "recouvrement / écartement" :</u>	
• relais extensif :	
- <u>évolution des contraintes suivant l'orientation du relais :</u>	
- <u>influence de l'ouverture (friction) :</u>	
- <u>influence du rapport "recouvrement / écartement" :</u>	
• les points de contact :	
- <i>conclusion partielle sur les relations fractures-fluides-contraintes :</i>	
II - Méthodologie mise en oeuvre :	p. 23
II. 1 - <u>Apports des cartes topographiques</u> :	p. 23
II. 2 - <u>Apports des cartes géologiques</u> :	p. 23
II. 3 - <u>Les M.N.T.</u> :	p. 24
- <i>reconnaissance de linéaments imputables aux failles sur les M.N.T. :</i>	
- <i>principaux résultats de l'étude des M.N.T. des valeurs de pentes :</i>	
- Chaudes-Aigues :	
- Saugues :	
- Nasbinals :	
- Saint-Chély-d'Apcher :	
- Synthèse des M.N.T. :	
II. 4 - <u>La photo-interprétation</u> :	p. 29
- <i>principaux résultats de la photo-interprétation :</i>	

- Chaudes-Aigues :
- Saugues :
- Nasbinals :
- Saint-Chély-d'Apcher :
- synthèse de la photo-interprétation :

II. 5 - Les travaux de terrain : p. 33

- *les différents arrêts :*

- *synthèse des travaux de terrain, les constantes :*

III - **Le réseau de fractures du bassin versant lozérien de la Truyère (synthèse) :** p. 52

IV - **Effet probable des contraintes sur le réseau de fractures du b.v. lozérien de la Truyère :** p. 53

V - **Conclusion, recommandations,** proposition de quelques sites favorables à la poursuite de l'étude : p. 54

Bibliographie p. 55

Liste des illustrations

Figure 1 : Localisation géographique simplifiée du secteur d'étude	8
Figure 2 : Carte géologique simplifiée du Massif Central	9
Figure 3 : Chronologie des événements tectoniques dans le massif de la Margeride.....	10
Figure 4 : Localisation des forages étudiés par Cornet et Burllet (1992).....	12
Figure 5 : Variation du champ de contraintes avec la profondeur à Chassoles	12
Figure 6 : Extrait du tracé des trajectoires de la contrainte horizontale maximale d'après le mémoire de la Société Géologique de France (1993).....	13
Figure 7 : Schéma simplifié montrant l'effet des contraintes sur l'ouverture - fermeture des fractures	15
Figure 8 : Arrivée d'eau sur une diaclase très légèrement réactivée en jeu cisailant dextre	15
Figure 9 : Variations de l'orientation de la contrainte horizontale dans le cas d'un relais de failles compressif.....	16
Figure 10 : Evolution des trajectoires de σ_1 autour d'un défaut ouvert en fonction de l'angle entre la contrainte maximale aux limites et l'axe du défaut	17
Figure 11 : Evolution des trajectoires de σ_1 autour d'un défaut oblique isolé soumis à une compression uniaxiale verticale.....	18
Figure 12 : Evolution des trajectoires de σ_1 et de σ_3 en fonction de l'orientation d'un relais compressif soumis à une contrainte verticale	19
Figure 13 : Evolution des trajectoires de σ_1 en fonction du rapport « recouvrement / écartement » autour d'un relais compressif orienté à 45° de la charge appliquée	19
Figure 14 : Evolution des trajectoires de σ_1 suivant l'orientation d'un relais compressif soumis à une contrainte verticale.....	20
Figure 15 : Effets de la friction sur les trajectoires de σ_1 autour d'un relais extensif soumis à une compression verticale	20
Figure 16 : Evolution de la distribution des trajectoires de σ_1 en fonction du recouvrement pour le cas d'un relais extensif	21
Figure 17 : Modélisation des trajectoires de σ_1 autour d'une faille avec plusieurs points de contact.....	22
Figure 18 : Extrait d'une des cartes de synthèse au 1/50000	23
Figure 19 : Cas de figure favorable à la formation d'un aquifère significatif dans une formation quaternaire superficielle en fonction des relations avec différents types de fractures	24
Figure 20 : Localisation d'une faille par rapport à son effet sur la morphologie : cas des escarpements.....	25
Figure 21 : Localisation d'une faille par rapport à son effet sur la morphologie : création de vallée.....	25
Figure 22 : Localisations possibles de la faille par rapport à un linéament sur pente forte	26
Figure 23 : Localisation de la faille par rapport à un linéament sur pente faible.....	26
Figure 24 : Mode de localisation employé dans le texte.....	27
Figure 25 : Mécanisme probable responsable de la géométrie observée en 8NE	32
Figure 26 : Esquisse de la disposition entre source, fracture N135 et linéament photo..	37
Figure 27 : Exemple de concentration des contraintes sur un genou d'une faille.....	54

Photo 1 : Plan d'une petite faille N110, 80N dans la carrière du Rocher Blanc	35
Photo 2 : Détail de la photo 1, stries très émoussées	35
Photo 3 : Faille N135 au sud de la carrière du Rocher Blanc	36
Photo 4 : Détail de la photo 3.....	36
Photo 5 : Faille N75 à 80, 85N stries 60W - Arrêt 6.....	38
Photo 6 : Faille N160 affectant la série miocène - Arrêt 9.....	38
Photo 7 : Faille N50, 65 à 75E mettant en contact l'Oligocène et les leucogranites - Arrêt 13	39
Photo 8 : Faille N140, 45E au contact argileux. Zone très altérée - Arrêt 14	40
Photo 9 : Faille N00 à la sortie de « Les Faux » - Arrêt 16	41
Photo 10 : Failles N00 et N175, 70W à la sortie de « Les Faux » - Arrêt 16	41
Photo 11 : Détail du plan de la faille N175, 70W à la sortie de « Les Faux » - Arrêt 16	42
Photo 12 : Plan de faille N90 décalé par des failles à la sortie de « Les Faux » - Arrêt 16	42
Photo 13 : Détail du décalage dextre de la N90 par la N140, 80W - Arrêt 16.....	43
Photo 14 : Détail du décalage sénestre de la N90 par la N05, 85W - Arrêt 16.....	43
Photo 15 : Plan très érodé d'une fracture N150, 90 en continuité d'un linéament photo	44
Photo 16 : Filon de quartz hydrothermal visible sur la carte géologique - Arrêt 22.....	44
Photo 17 : Plans N130 à 145 - Arrêt 25	45
Photo 18 : Plan d'une faille N60 décalée par des failles N50 et N00 - Arrêt 28	46
Photo 19 : Linéament photo N-S identifié en tant que faille sur le terrain - Arrêt 29.....	47
Photo 20 : Linéament photo N70 identifié en tant que faille sur le terrain - Arrêt 31	47
Photo 21 : Détail de la photo 20, faille N70 colmatée - Arrêt 31	48
Photo 22 : Détail d'une fracture N30, ouverture chenalisante - Arrêt 32	49
Photo 23 : Dièdre entre une fracture N130 et N60 - Arrêt 32.....	49
Photo 24 : Large cortège de grandes diaclases N130 - Arrêt 32.....	50
Photo 25 : Veinules de quartz décalées par des failles plates - Arrêt 33.....	50

Liste des annexes

- Annexe 1 :** Cartes de localisation des arrêts et itinéraires suivis (1/25.000) :
- agencement des diverses cartes de localisation des arrêts
 - Le Malzieu Ville W
 - Le Malzieu Ville E
 - Fournels NE
 - St Chély d'Apcher NW
 - St Chély d'Apcher NE
 - St Amans NW
 - Fournels SW
 - St Chély d'Apcher SE

Ressources en eau de la Margeride Ouest, bassin de la Truyère.

Première phase

Identification des différentes formations aquifères.
Sélection de secteurs de prospection hydrogéologique.

Intervention de l'Université Montpellier II :

**Identification et analyse des réseaux de fractures
sur le bassin versant lozérien de la Truyère (Lozère)
et mise en relation avec les états de contraintes actuelles.**

Ce rapport, réalisé par le laboratoire de Géophysique et Tectonique de l'Université Montpellier II, s'inscrit dans le cadre de la phase 1 du projet de recherche concernant la caractérisation des ressources en eau de la Margeride Ouest (unité géographique concernée : bassin versant lozérien de la Truyère). L'étude est menée en partenariat entre le Conseil Général de la Lozère, l'Agence de l'Eau Adour Garonne et le B.R.G.M..

De manière succincte, les différentes phases du projet consistent en :

phase 1 :

Identification des différentes formations aquifères - Sélection de secteurs d'investigations de terrain. Cette première phase comprend le recueil de données de base (hydrogéologie, lithologie, nature et puissance des altérites, réseau de fracturation et contrainte actuelles, etc.) et leur croisement avec les critères sociaux-économiques, dans l'objectif de sélectionner, en concertation avec le Conseil Général de la Lozère et l'Agence de l'Eau Adour Garonne, des sites qui pourront faire l'objet de prospections hydrogéologiques.

phase 2 :

Prospection radon puis géophysique sur les sites sélectionnés.

phase 3 :

Sondages de reconnaissance afin de valider les hypothèses formulées et de démontrer l'existence d'une ressource en eau.

L'objectif final demandé au laboratoire de Géophysique et tectonique de l'université Montpellier II - et présenté ici - est d'apporter les éléments d'information structuraux, en terme de description et d'analyse des réseaux de fractures et de mise en relation avec les états de contraintes actuels, permettant de déterminer, à ce stade, les réseaux potentiellement les plus favorables du point de vue des circulations d'eau souterraine. Cette étude, réalisée dans le délai d'une trentaine de jours ouvrés qui nous était imparti, a porté essentiellement sur le traitement de Modèles Numériques de terrain (M.N.T.), de photographies aériennes et de travaux de terrain avec l'appui des cartes topographiques au 1 / 25 000 & au 1 / 50 000 ainsi que des cartes géologiques au 1 / 50 000 des secteurs concernés (bassin versant lozérien de la Truyère).

I - Synthèse bibliographique :

Conformément à l'objectif de notre étude, la synthèse bibliographique présentée ici est orientée essentiellement sur les champs de paléocontraintes et contraintes actuelles ainsi que sur les effets de celles-ci sur les circulations potentielles dans le réseau de fractures du bassin versant lozérien de la Truyère.

La Lozère est un des départements du Massif Central (fig. 1a). Il est entouré par le Cantal, la Haute-Loire, l'Ardèche, le Gard et l'Aveyron (fig. 1b). Le secteur des hautes terres de la Margeride étudié ici (bassin versant lozérien de la Truyère) constitue la partie NW du département (fig. 1c). Il occupe une surface d'environ 3200 Km² (fig. 2) au coeur du Massif Central.

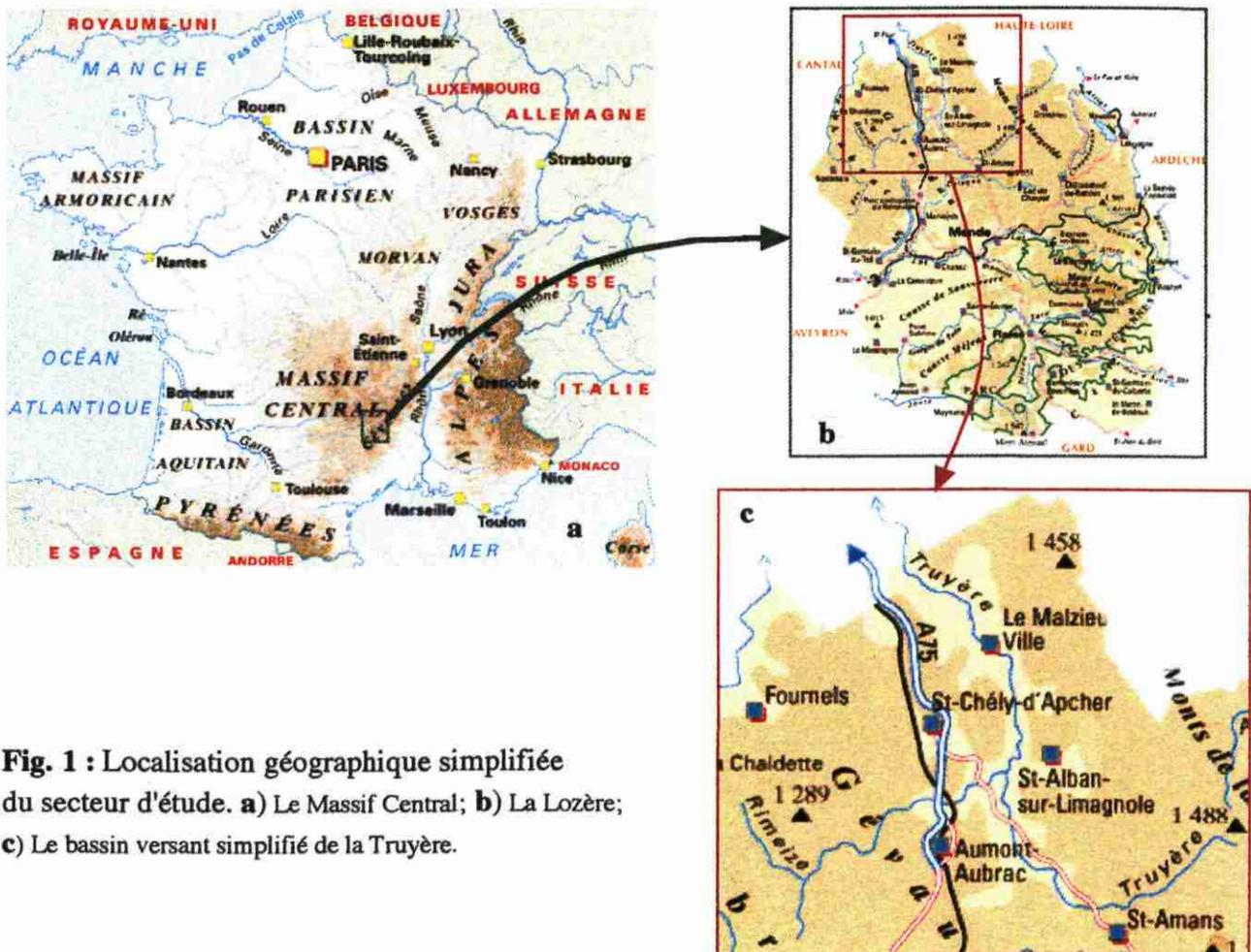


Fig. 1 : Localisation géographique simplifiée du secteur d'étude. **a)** Le Massif Central; **b)** La Lozère; **c)** Le bassin versant simplifié de la Truyère.

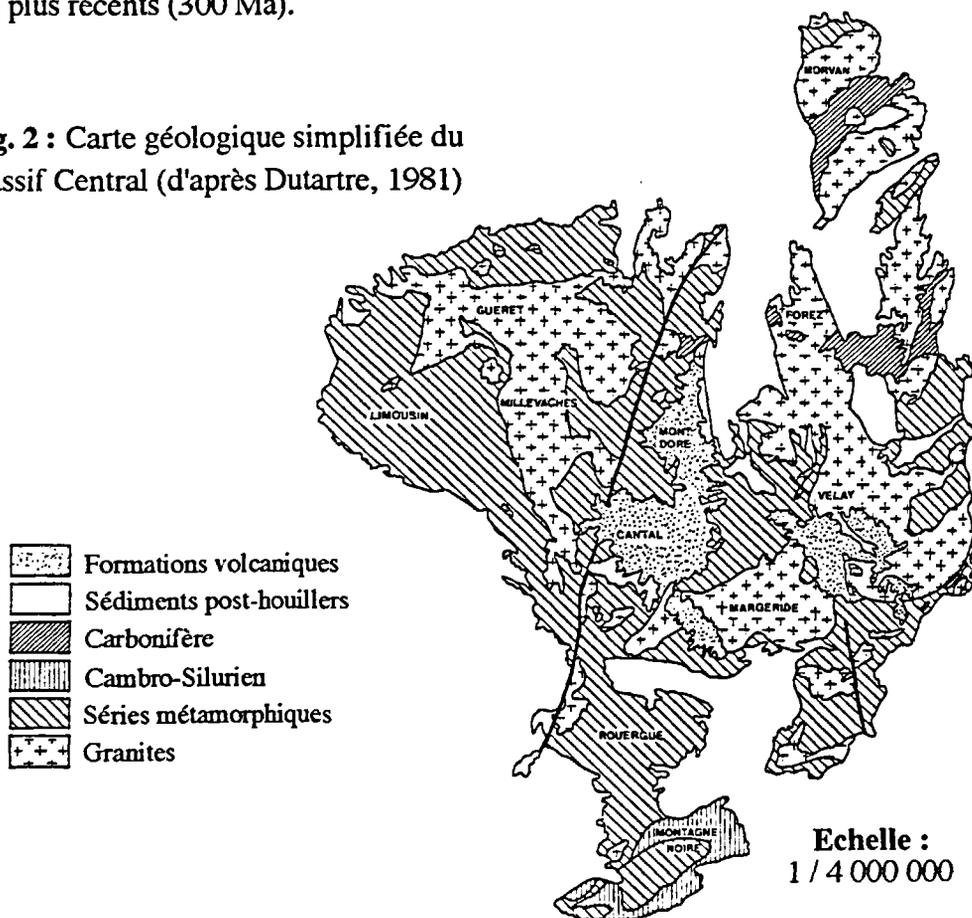
I. 1 - Cadre géologique de la Margeride (Lozère) :

Le but de notre étude étant essentiellement axé sur la caractérisation du réseau de fracture en liaison avec les champs de paléocontraintes et contraintes actuelles, le cadre géologique présenté ici se veut plus être un descriptif de la reconnaissance des différentes phases tectoniques (ayant affecté le secteur de la Margeride) par leurs effets sur la mise en place des nombreux faciès, qu'un état des lieux précis de la géologie de la Margeride. Pour cela on pourra se référer aux notices explicatives

des cartes géologiques au 1 / 50 000 du site ainsi qu'au travail de synthèse en cours de Mr P. Le Strat (B.R.G.M.).

Le substratum, d'apparence très homogène, est constitué par l'immense laccolite subhorizontal de la Margeride, d'âge carbonifère moyen (325 Ma) d'une épaisseur de 4 à 8 km (Bayer *et al.*, 1982) grossièrement concordant avec la foliation des terrains métamorphiques. Essentiellement dans le nord, ce granite est injecté par de nombreux amas de leucogranite (15 % de l'ensemble), plus récents (300 Ma).

Fig. 2 : Carte géologique simplifiée du Massif Central (d'après Dutartre, 1981)



Le substratum est recoupé par des filons de roches éruptives variées et de quartz hydrothermal. Bien que leur datation ne soit pas connue avec précision, le fait qu'ils recoupent des leucogranites d'âge stéphanien inférieur et qu'ils n'aient jamais été observés dans les terrains permien et triasiques environnants, les inscrit en tant que témoins d'un volcanisme d'âge stéphanien. La direction majeure de l'ensemble de ces filons varie entre N145 et N170, cependant quelques rares petits filons de porphyrite sont observés selon des directions N30 à 50. Quant aux filons de quartz hydrothermal la direction prépondérante est N30 à N60 mais les directions N150 - 160 ne sont pas rares.

A l'Oligocène, des anciennes fractures de socle de direction NNW-SSE jouent. Elles sont à l'origine de la formation de deux petits bassins en demi-grabens remplis de sédiments détritiques se présentant sous forme de deux séries sédimentaires attribuées à l'Oligocène moyen puis au Miocène supérieur (hiatus de 15 à 20 Ma). La "montagne" de la Margeride se soulève.

C'est à cette époque (Miocène supérieur : 7,5 Ma) que des magmas basaltiques fluides utilisent l'ouverture de nombreuses fissures orientées NW-SE (édification de l'ensemble volcanique

des monts d'Aubrac, 450 km², épaisseur inférieure à 300 m). Actuellement, leur érosion est importante. Ils constituent un réservoir phréatique important, fournissant des eaux potables d'excellente qualité.

A la fin de la dernière période froide du Quaternaire (15 000 ans), un manteau morainique, actuellement mince (quelques mètres), est abandonné sur les monts d'Aubrac et leur piémont granitique. La dissociation et la fusion sur place de la glace ont permis le comblement de certains couloirs par des dépôts fluvioglaciers.

Éboulis, colluvions en amont, tourbes, alluvions anciennes et alluvions modernes en aval, constituent les remblaiements des fonds de vallées qui scellent les fractures qui ont conditionné leur creusement ou leur emplacement.

Les principales phases tectoniques reconnues sont :

- compression N-S Crétacé moyen (orogénèse pyrénéo-alpine)
- compression NW-SE Eocène inférieur (brèche syntectonique vitrolleuse au front du pli de Montpellier)
- compression N-S Eocène supérieur (Barthonien) (brèche syntectonique au front du pli de Montpellier)
- distension WNW-ESE Eocène supérieur à Oligocène
- compression E-W (alpine) Miocène et Pliocène inférieur
- compression N-S Plio-quaternaire

Quant à Dutarte (1981), suite à son étude microtectonique de la fracturation de la Margeride, il propose différentes phases (fig. 3) par une mise en corrélation avec les phases reconnues par d'autres auteurs, notamment Bonijoly (1981).

	STRATIGRAPHIQUE	ÉVÉNEMENTS TECTONIQUES MAJEURS	PHASES TECTONIQUES	REPARTITION DES FRACTURES
CÉNOZOÏQUE	Plio-Quaternaire		Compression N-S	
	Miocène et Pliocène inférieur	Phases "Alpines"	Compression E-W	
	Eocène supérieur et Oligocène		Distension WNW-ESE	
	Eocène inférieur et moyen	Phases "Pyrénéennes"	Compression N-S Compression NW-SE	
MÉSOZOÏQUE	Jurassique supérieur et Crétacé		Distension N-S	
	Jurassique inférieur et moyen	Crise Lotharingienne	Distension E-NE-W-SW	
	Trias		Distension E-W	
PALÉOZOÏQUE	Permien		Compression N-S	
	Stéphanien	Phases tardi-	Compression E-W	
	Tardi-Bercynien	Hercyniennes	Compression N-S	

Fig. 3 : Chronologie des événements tectoniques dans le Massif granitique de la Margeride (d'après Dutarte, 1981).

I. 2 - Cadre hydrogéologique de la Margeride (Lozère) :

Le granite porphyroïde, souvent altéré sur une épaisseur de plusieurs mètres (arènes plus ou moins argileuses constituant des aquifères peu étendus morcelés par le réseau hydrographique), présente de nombreuses sources aux débits réguliers mais assez faibles (inférieur à 1 l/s à l'étiage).

Les eaux présentent les caractères habituels des eaux issues de terrains granitiques et situées dans ce contexte climatique : froides (5 à 10°), peu minéralisées et acides.

Les filons quartzeux semblent guider et concentrer les écoulements. Pour exemple, la source de la Chaldette (commune de Brion - limite extérieure ouest de notre secteur d'étude) émerge du granite porphyroïde à la faveur d'un filon de microgranite non affleurant (les filons de microgranite avoisinants étant de *direction N150 à 160*). Il s'agit d'une eau à 32,5°C bicarbonatée sodique faiblement minéralisée (0,7 g/l) et de faible débit (30 l/min) (carte géologique au 1 / 50 000 de Nasbinals, livret guide).

La ressource en eau plus profonde dans les granites fissurés n'est pas encore prospectée.

Les alluvions modernes constituent les seules formations sédimentaires pouvant renfermer des nappes aquifères. Sur les rives de la Truyère, en-dessous de Paladines, des sources minérales froides bicarbonatées alcalines montrent des débits faibles. Alors que plus au sud, au voisinage de la faille occidentale du horst (cf. livret guide de la carte géologique de Saint-Chély-d'Apcher), des sources minérales bicarbonatées sodiques existent en deux endroits. De débits insignifiants, elles s'alignent selon une *direction N170*.

Dans leur rapport B.R.G.M. d'avril 1991 concernant le secteur de La Garde (au nord de Saint-Chély-d'Apcher), Berard et Baudon-Juvet mettent en relation les arènes "sableuses", qu'ils considèrent comme le réservoir, et le réseau de fractures qui assurent la fonction productrice et drainante. Nonobstant, ils n'en font pas ressortir pour autant une organisation directionnelle des sources, ce qui devrait pourtant être le cas en fonction du postulat précédent, qui lui-même semble être en accord avec les connaissances déjà acquises que nous présentons plus haut (alignements de sources selon une direction N170, filons porteurs N150 à 160, etc.). Car, selon eux, la variabilité des températures et des débits qu'ils constatent dans la région de La Garde, indique la dépendance aux conditions de réalimentation par les pluies (contrôle par une alimentation superficielle plus qu'en profondeur via le réseau de fractures). Or, toujours selon ces mêmes données, lors de la mise en pompage, la sollicitation des réservoirs profonds (fractures) est mise en évidence.

I. 3 - Le champs de contrainte régional de la Lozère :

Comme nous le verrons plus précisément dans le paragraphe I. 4, dans le cadre de l'optimisation de l'implantation de forages d'eau en milieux fissurés, la connaissance des champs de paléocontraintes et surtout du champs de contraintes actuelles est primordiale. Les paléocontraintes ont un effet indiscutable sur la géométrie actuelle du réseau de fractures (jeux multiples, décalages, continuité, paléocirculations et colmatages ...), les contraintes actuelles étant quant à elles vraisemblablement responsables de la plus grande partie des ouvertures des fractures et par conséquent des circulations potentielles (cf. paragraphe I. 4). Bien que l'ensemble des fractures favorablement orientées par rapport aux contraintes soient certainement ouvertes, seule une partie de celles-ci forment le réseau utile (problèmes de connectivité liés à l'extension des fractures, à leur densité et à leur spectre directionnel).

- les paléocontraintes :

Pour ce qui est des différentes phases tectoniques reconnues on se référera à la figure 3 (Dutartre, 1981).

- les contraintes actuelles :

Cornet et Burlet (1992) ont effectué plusieurs mesures de contraintes *in situ* dans le Massif Central par test hydraulique (méthode HTPF, Cornet, 1992). La mesure la plus proche de notre étude est celle de "Chassoles" (≈ 100 km au NNW de la Margeride) et montre une forte anisotropie.

La contrainte maximale est σ_H (fig. 5) depuis la surface jusqu'à environ 625 m où σ_v devient alors prépondérante. La direction de σ_H varie de N100 à -325 m jusqu'à N150 vers -625 m.

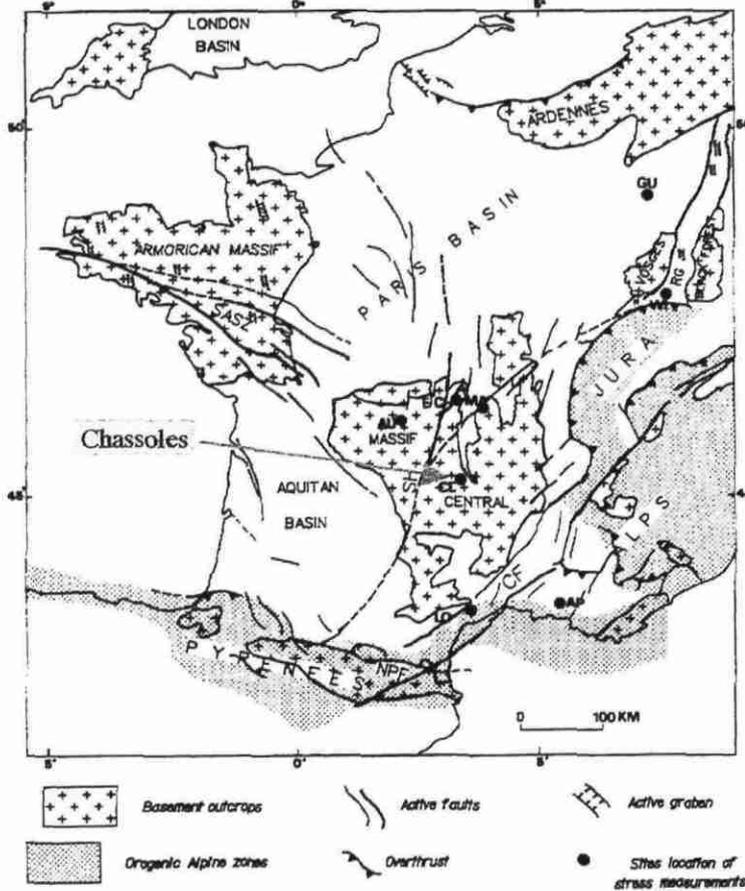
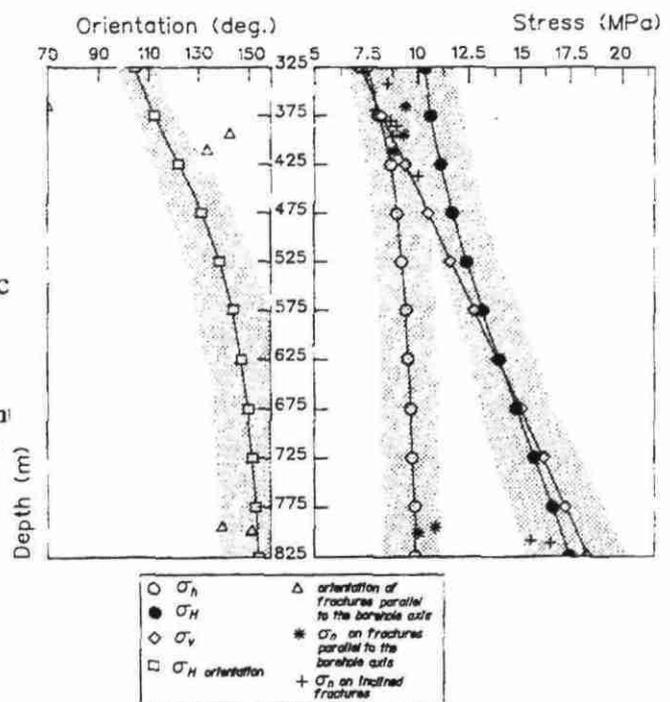


Fig. 4 : Localisation des forages étudiés par Cornet et Burlet (1992).

Structures actives : RG, Graben du Rhin; SASZ, zone cisailée sud armoricaine; SH, sillon houiller; CF, faille des Cévennes; NPF, faille nord pyrénéennes.
Sites de mesures : GU, Guerting; EC, Echassières; MA, Le Mayet de Montagne; AU, Auriat; CE, Chassoles; AP, Aix en Provence; LO, Lodève; WI, Wittelsheim.

Fig. 5 : Variation du champs de contraintes avec la profondeur à Chassoles (d'après Cornet et Burlet, 1992)

σ_v est la contrainte verticale, σ_H et σ_h sont respectivement les contraintes maximales et minimales horizontales, les zones grisées correspondent à 68 % des mesures.



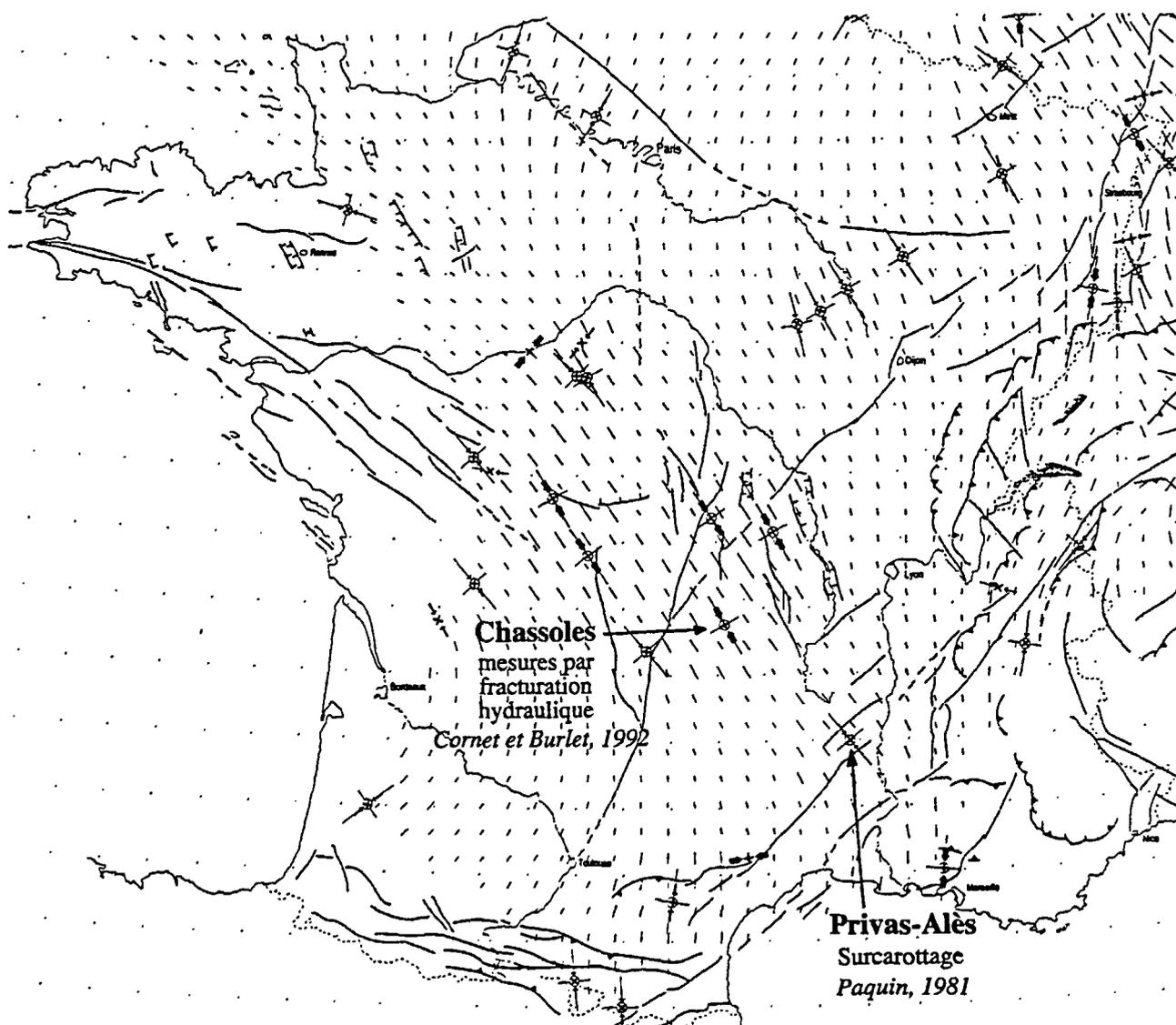


Fig. 6 : Extrait du tracé des trajectoires de la contrainte horizontale maximale (σ_H) d'après le mémoire de la Société Géologique de France (1993).

Le secteur de la Margeride se situe entre Chassoles (au NW) et Privas-Alès (au SE).

Une autre mesure proche a été réalisée au SE (Privas-Alès). Il s'agit d'une mesure par surcarottage effectuée par Paquin en 1981. Elle indique un σ_H de direction N140.

L'ensemble des valeurs de σ_H mesurées dans les environs du Massif Central (mémoire S.G.F., 1993) indique des directions semblables. Nous pouvons par conséquent extrapoler la direction de σ_H dans la région de la Margeride en lui conférant une *orientation voisine de N140 à 150*.

I. 4 - Notions sur les relations "fractures-fluides-contraintes" :

Afin d'éviter toute erreur d'interprétation de quelques termes utilisés ici, voici quelques définitions qui sont pour la plupart déjà acceptées par tous. Celles-ci, établissant les bases d'un certain vocabulaire utilisé dans cette étude, pourront amener à discussion.

Le terme *fracture* est utilisé pour tout ce qui est rupture de la roche selon un plan. Il regroupe donc failles, diaclases et fentes de tension.

Le *réseau de fractures* est l'ensemble des fractures (de tout ordre) d'une masse rocheuse.

Par conséquent, l'appellation "réseau fissuré", souvent rencontrée dans la littérature, semble utilisée abusivement. En effet, le terme fissure ne peut s'appliquer aux failles, alors que celles-ci constituent la première échelle d'observation de la fracturation d'une région. On peut toutefois utiliser restrictivement le terme de réseau en parlant de réseau de failles ou de diaclases. Mais dans le cas d'une identification incertaine de l'objet considéré (un linéament identifié en photo-interprétation par exemple) on parlera de réseau de fractures.

Une *faille* est une cassure de terrain avec déplacement relatif des parties séparées.

Une *diacalse* est une fissure dont les lèvres sont sans traces de mouvements relatifs autre qu'une ouverture, toujours très faible (mode I).

Un *plan de diacalse* est la surface d'une des lèvres de la fissure. Une diacalse a par conséquent deux plans, elle forme donc un volume.

Rives (1992) donne les définitions suivantes en fonction de l'échelle d'observation des diaclases :

La *famille de diacalse* est l'ensemble des diaclases de même direction. L'éventuelle faible variation de direction au sein d'une même famille sera appelée spectre.

Le *cortège de diaclases* est un amas de diaclases parallèles, formant un couloir fracturé, pouvant sembler ne former qu'une seule fracture à une certaine distance.

À cette échelle, la description fait appel à la géostatistique. On peut mesurer des densités de fractures (nb/m), des espacements (m), des périodicités (types de distribution). Par ceux-ci, on peut alors suggérer des mécanismes de formation.

Dans sa thèse, Th. Bruel (1997) a réalisé une synthèse bibliographique sur la fracturation. On y retrouve les définitions précédentes mais aussi une importante série de notions sur les relations entre diaclases, failles et lithologie ainsi que les conséquences de leur genèse sur leur morphologie; ces *connaissances* nous semblent *indispensables pour la suite de l'étude*.

- effets des contraintes sur l'ouverture des fractures :

Parmi les différents paramètres qui régissent le comportement hydraulique d'un réseau de fractures à un moment donné, les contraintes *in situ* apparaissent de plus en plus comme un élément essentiel (Massonnat et coll., 1994). En fonction de l'orientation des fractures par rapport aux contraintes principales majeures les fractures ont tendance à s'ouvrir ou se fermer (figure 7). L'anisotropie horizontale de perméabilité est par conséquent étroitement liée au caractère déviatorique des contraintes. Dans un milieu présentant de nombreuses directions de fracturation, comme c'est le cas en Margeride, la perméabilité maximale devrait être observée le long des fractures d'orientation proche de la direction de la contrainte maximale horizontale (σ_H).

L'orientation de σ_H et de σ_h est indépendante de la profondeur, une fracture orientée dans le sens de σ_H s'ouvre toujours dans le sens de σ_h . Toutefois, il ne s'agit que du rapport de contraintes exprimées dans un plan horizontal. σ_H n'est la contrainte principale qu'en subsurface, σ_V s'accroissant avec la profondeur tend à la remplacer, σ_H devant la contrainte intermédiaire et σ_h la mineure. On peut supposer que σ_V aide alors à l'ouverture des fractures dans le sens de σ_h (fig. 5).

Il n'est cependant pas évident que les fractures strictement parallèles à σ_H soient les plus ouvertes. Une faible obliquité entraînant un léger déplacement cisailant peut créer une ouverture chenalissante plus favorable aux écoulements (l'angle dépendant de la capacité de broyage de la roche en fonction de la friction). De tels petits décrochements producteurs ont été fréquemment observés (figure 8).

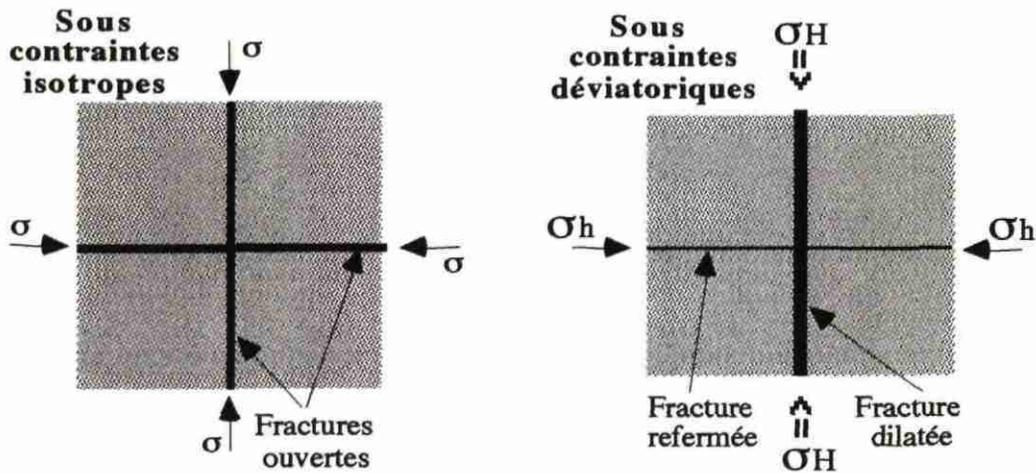


Fig. 7 : Schéma simplifié montrant l'effet des contraintes sur l'ouverture-fermeture des fractures.

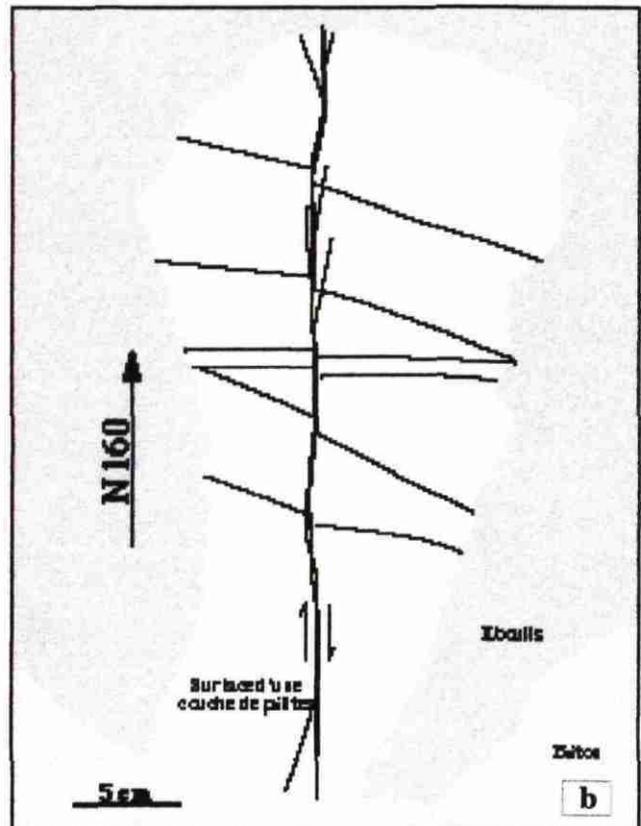


Fig. 8 : Arrivée d'eau sur une "diacalse" très légèrement réactivée en jeu cisailant dextre (≈ 5 mm).
a) photo; b) esquisse. Le cisaillement est responsable d'une augmentation de la chenalisation du plan : cercles verts indiquant les points les plus producteurs (d'après Bruel, 1997)

- contraintes régionales et contraintes locales :

Dans ce qui suit il convient de *bien distinguer* contraintes *régionales* et contraintes *locales*. Les premières s'appliquent à l'échelle d'une région (champ pétrolier par exemple). Dans notre cas il s'agit des contraintes s'appliquant aux limites du granite porphyroïde de la Margeride. Les contraintes locales peuvent être plus complexes. Le champ correspondant prend en compte les perturbations de contraintes liées à la présence d'hétérogénéités mécaniques locales (notamment les failles de différentes échelles). Pour exemple, la figure 9 issue d'une expérience de photo-élasticimétrie sur Plexiglas (Auzias, 1995) illustre les perturbations de contraintes dans un relais compressif et le rôle du frottement.

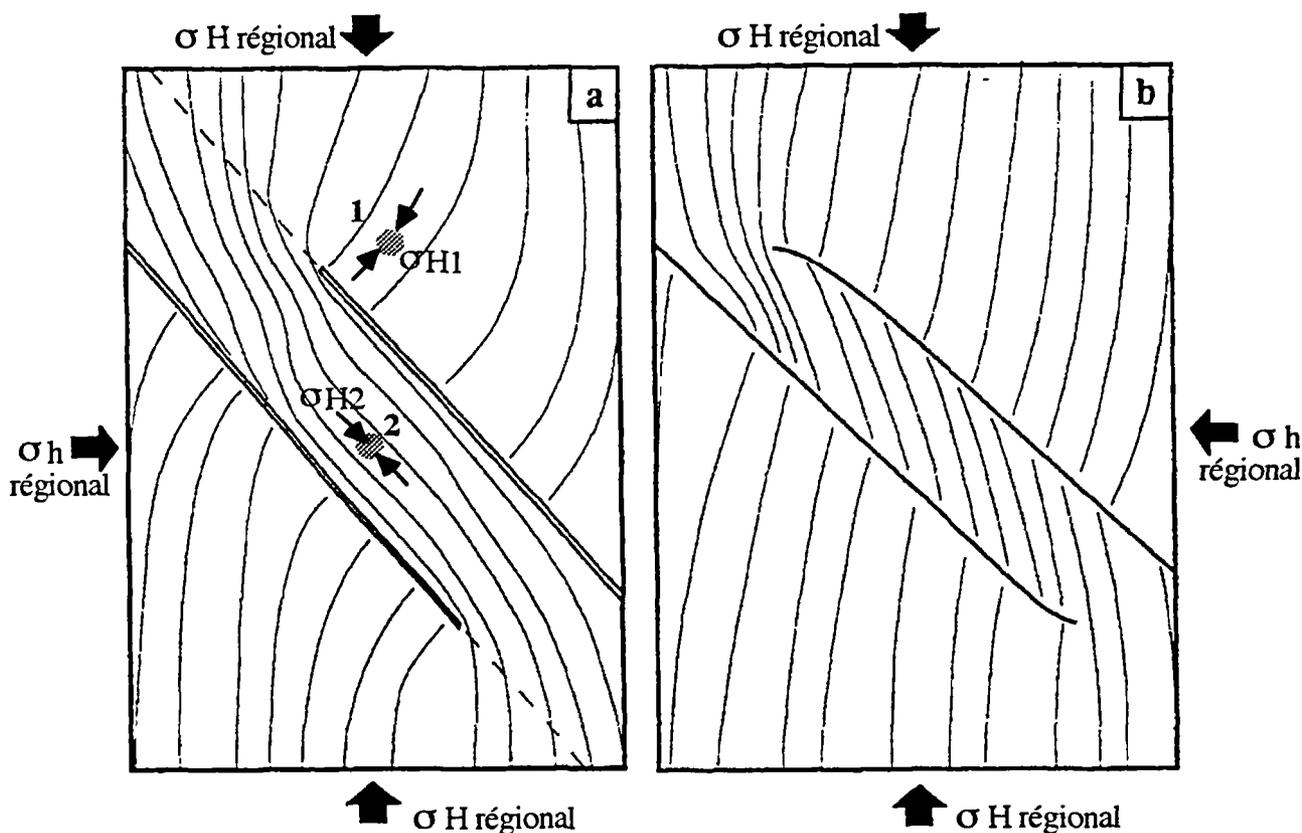


Fig. 9 : Variations de l'orientation de σH dans le cas d'un relais de failles compressif (fort recouvrement, faible écart entre les défauts). a : failles ouvertes; b : failles fermées.

La contrainte "régionale" maximale peut être considérée NS; mais en "a" des mesures ponctuelles peuvent indiquer une obliquité de contraintes locales maximales (σH) de 90° (N35 en 1, N140 en 2). D'après Auzias, 1995; modifié.

On constate que ces perturbations se traduisent par des déviations de σH locale qui peuvent amener à "l'ouverture" ou "dilatance" de fractures d'orientations très différentes de part et d'autre de la faille.

- effets des fractures sur les contraintes :

Afin de mieux saisir, pour la suite des travaux (fin de ce rapport, puis phases 2 et 3) les effets possibles de la géométrie de certaines fractures sur le couple ouverture-fermeture des fractures et par conséquent sur les circulations potentielles d'eau, nous proposons un catalogue

"d'illustrations" de bases, issues de la thèse d'Auzias (1995). Ce dernier a notamment modélisé en 2D (par photo-élasticimétrie) les perturbations des contraintes (trajectoires, concentrations, intensités, etc.) au voisinage de failles préexistantes, ainsi que l'organisation des réseaux de fractures associés. De son étude très complète, nous ne présenterons que des cas simples permettant d'aborder une grande partie des phénomènes visibles dans notre étude. Toutefois, nous conseillons la lecture de cette thèse (et des ouvrages similaires) afin de mieux saisir l'ensemble des paramètres susceptibles de perturber les contraintes (friction, rapport des contraintes, évolution des contraintes suite à une rupture, combinaisons de fractures, etc.).

• **faille isolée :**

- évolution des contraintes suivant l'orientation de la faille :

Comme l'illustre la figure 10, la perturbation de la trajectoire de la contrainte maximale (σ_1) évolue en fonction de l'orientation des défauts. Elle est d'autant plus intense que l'angle formé entre σ_1 et le défaut est grand.

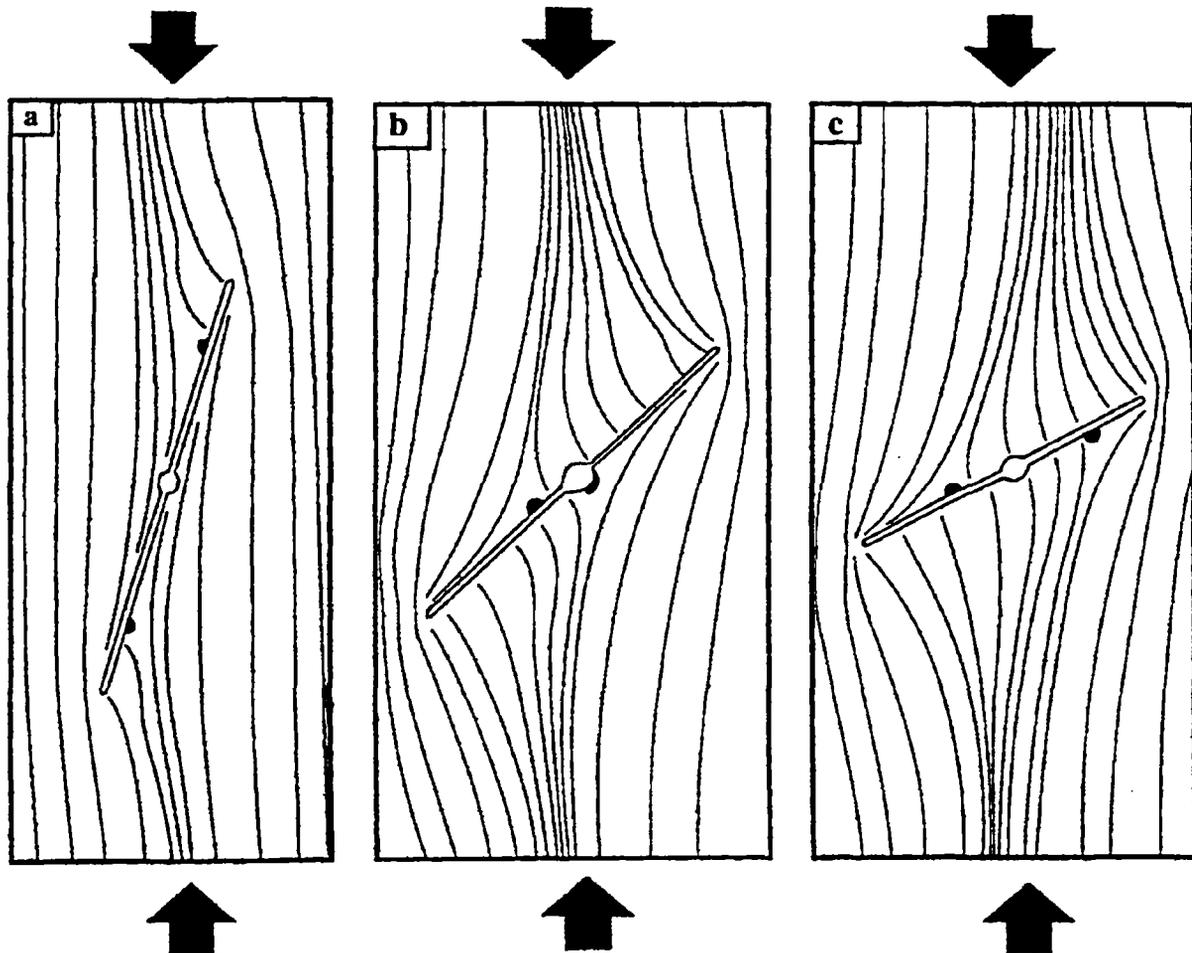


Fig. 10 : Évolution des trajectoires de σ_1 autour d'un défaut ouvert en fonction de l'angle entre la contrainte maximale aux limites (σ_1) et l'axe du défaut; a : 15°, b : 45°; c : 60°. Les petites surfaces noires représentent des points isotropes (Auzias, 1995)

- influence de l'ouverture (friction) :

Les observations (figure 11) montrent que le changement le plus significatif du champ de contraintes intervient lorsqu'un défaut ouvert se referme fortement sous l'effet d'une surcharge. Ceci se caractérise par l'apparition de points de contact plus ou moins nombreux. Les fortes déviations se concentrent dans une fine bande le long des défauts dont la largeur diminue lorsque le nombre de points de contact augmente.

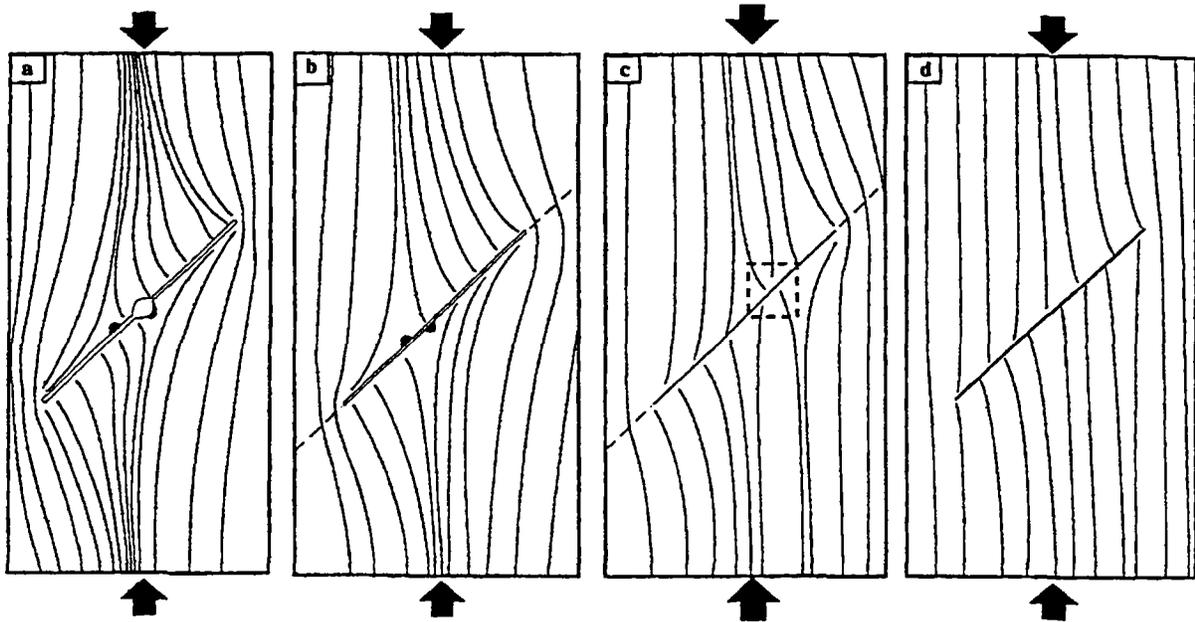


Fig. 11 : Évolution des trajectoires de σ_1 autour d'un défaut oblique isolé (angle de 45°) soumis à une compression uniaxiale verticale. La friction change pour chaque défaut (Auzias, 1995) :

- a : défaut ouvert (0,4 mm), friction nulle en tout points;
- b : défaut faiblement ouvert (< 0,1 mm). La charge appliquée est faible, la friction est nulle en tout point;
- c : défaut fermé localement, la charge appliquée est forte, les trajectoires de σ_1 convergent vers une aspérité;
- d : défaut fermé, friction sur toute la surface.

• **relais compressif :**

- évolution des contraintes suivant l'orientation du relais :

Un même relais compressif est reproduit trois fois (figure 12) avec des orientations différentes (20° , 45° , 70°). Il est soumis à une compression uniaxiale verticale faible qui ne permet la fermeture du défaut que très localement.

Quel que soit l'angle, les trajectoires de σ_1 sont parallèles aux défauts à l'intérieur du relais. Les déviations ont donc pu atteindre ici 70° dans un relais fortement oblique à la contrainte appliquée. A l'extérieur du relais, les trajectoires deviennent perpendiculaires sur une grande longueur des défauts qui font un angle fort avec la contrainte appliquée et deviennent parallèles aux défauts qui font un angle faible (sauf aux extrémités).

- influence de l'ouverture (friction) :

La figure 9 montre que la trajectoire de la contrainte maximale est plus faible dans le cas de défauts fermés.

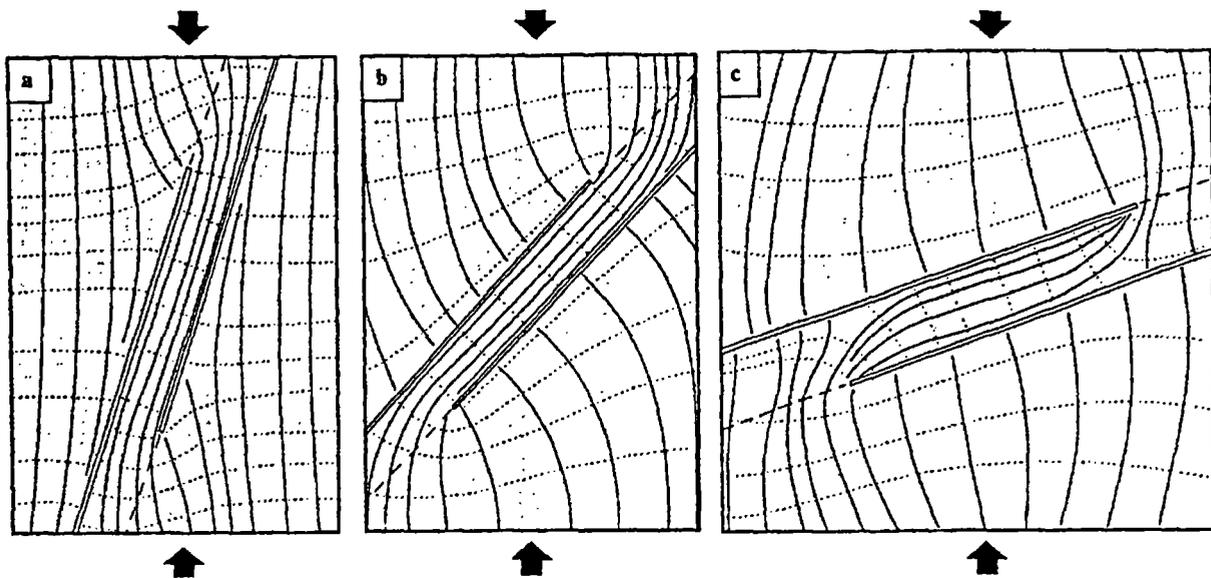


Fig. 12 : Évolution des trajectoires de σ_1 (traits pleins) et de σ_3 (pointillés fins) en fonction de l'orientation d'un relais compressif soumis à une contrainte verticale (Auzias, 1995).

a : angle de 20° ; b : angle de 45° , dans ces deux premiers cas σ_1 augmente à l'entrée du relais, puis σ_1 est constant dans le relais; c : angle de 70° , σ_1 diminue à l'entrée du relais (d'après les propriétés des trajectoires de contraintes)

- influence du rapport "recouvrement / écartement" :

Les trajectoires sont toujours parallèles aux défauts à l'intérieur du relais (figure 13), d'autant plus que le recouvrement est important. Lorsque le recouvrement devient faible, les trajectoires deviennent obliques dans le relais.

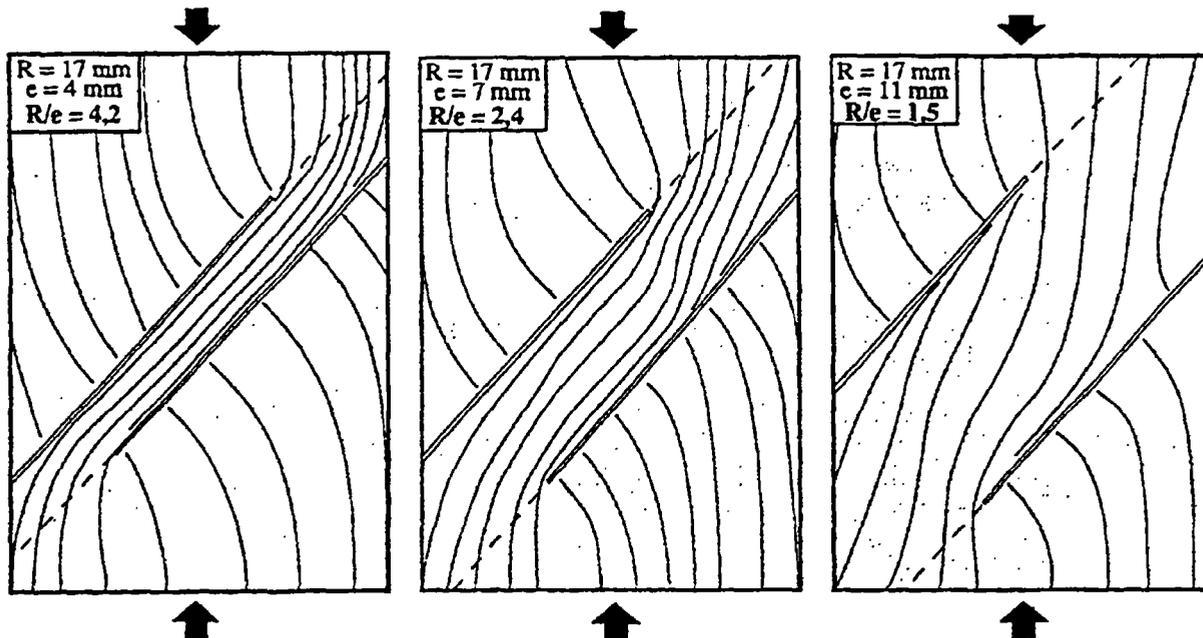


Fig. 13 : Évolution des trajectoires de σ_1 en fonction du rapport "recouvrement / écartement (R/e)" avec R constant, autour d'un relais compressif orienté à 45° de la charge appliquée (Auzias, 1995).

• **relais extensif :**

- évolution des contraintes suivant l'orientation du relais :

La figure 13 illustre, pour un même relais, trois orientations différentes de celui-ci par rapport à la contrainte maximale. A l'intérieur du relais σ_1 est toujours perpendiculaire aux défauts (et de valeur nulle ou très faible) alors que σ_3 est parallèle. Dans le cas présenté ici, les déviations les plus importantes peuvent atteindre 70° (figure 13 a).

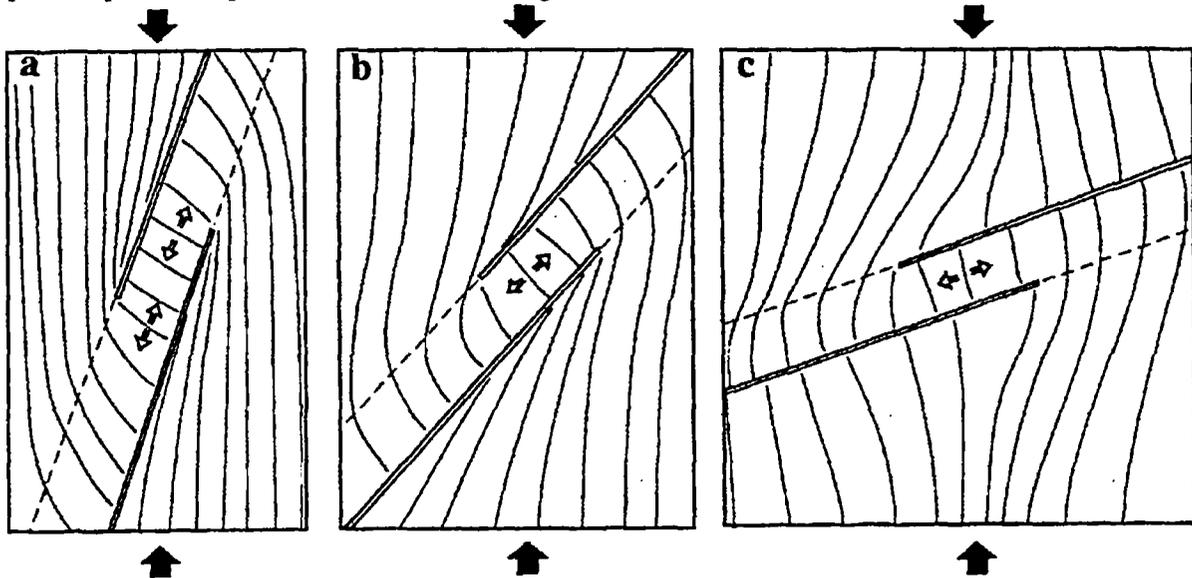


Fig. 14 : Évolution des trajectoires de σ_1 suivant l'orientation d'un relais compressif soumis à une contrainte verticale (Auzias, 1995).

a : angle de 20° ; b : angle de 45° ; c : angle de 70°

- influence de l'ouverture (friction) :

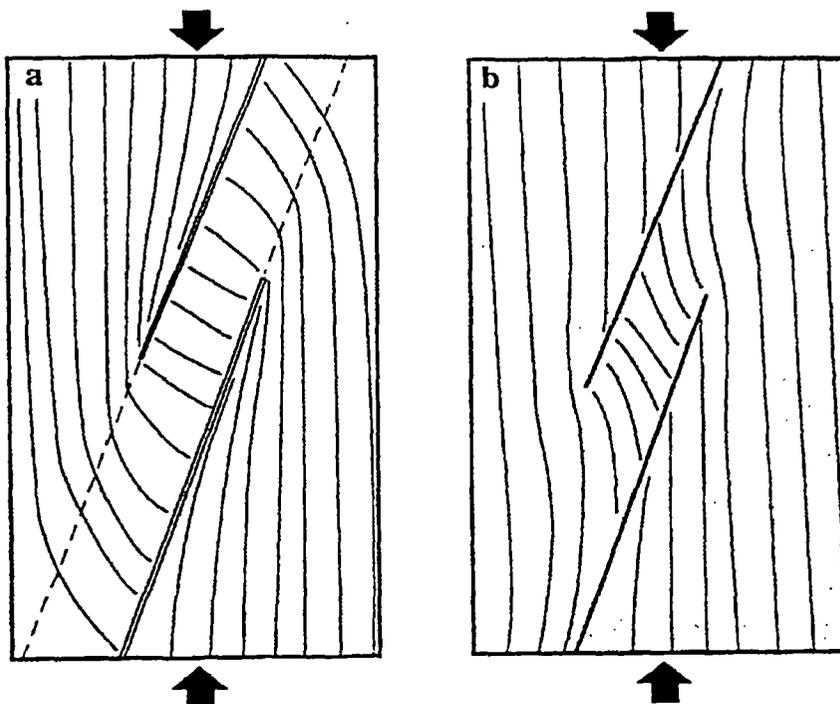


Fig. 15 : Effets de la friction sur les trajectoires de σ_1 autour d'un relais extensif soumis à une compression verticale, a : défauts ouverts, b : défauts fermés (Auzias, 1995).

Comme le montre la figure 15, si les défauts sont fermés, les trajectoires de contraintes sont peu déviées en bout de défaut. Elles font toujours un angle faible par rapport à la contrainte appliquée.

- influence du rapport "recouvrement / écartement" :

Dans la figure 16, on constate qu'à l'intérieur du relais, les trajectoires de contraintes sont toujours perpendiculaires aux défauts, quelle que soit la valeur du recouvrement. Le paramètre important semble être l'ouverture des défauts obligeant σ_1 à se perpendiculariser à ces derniers.

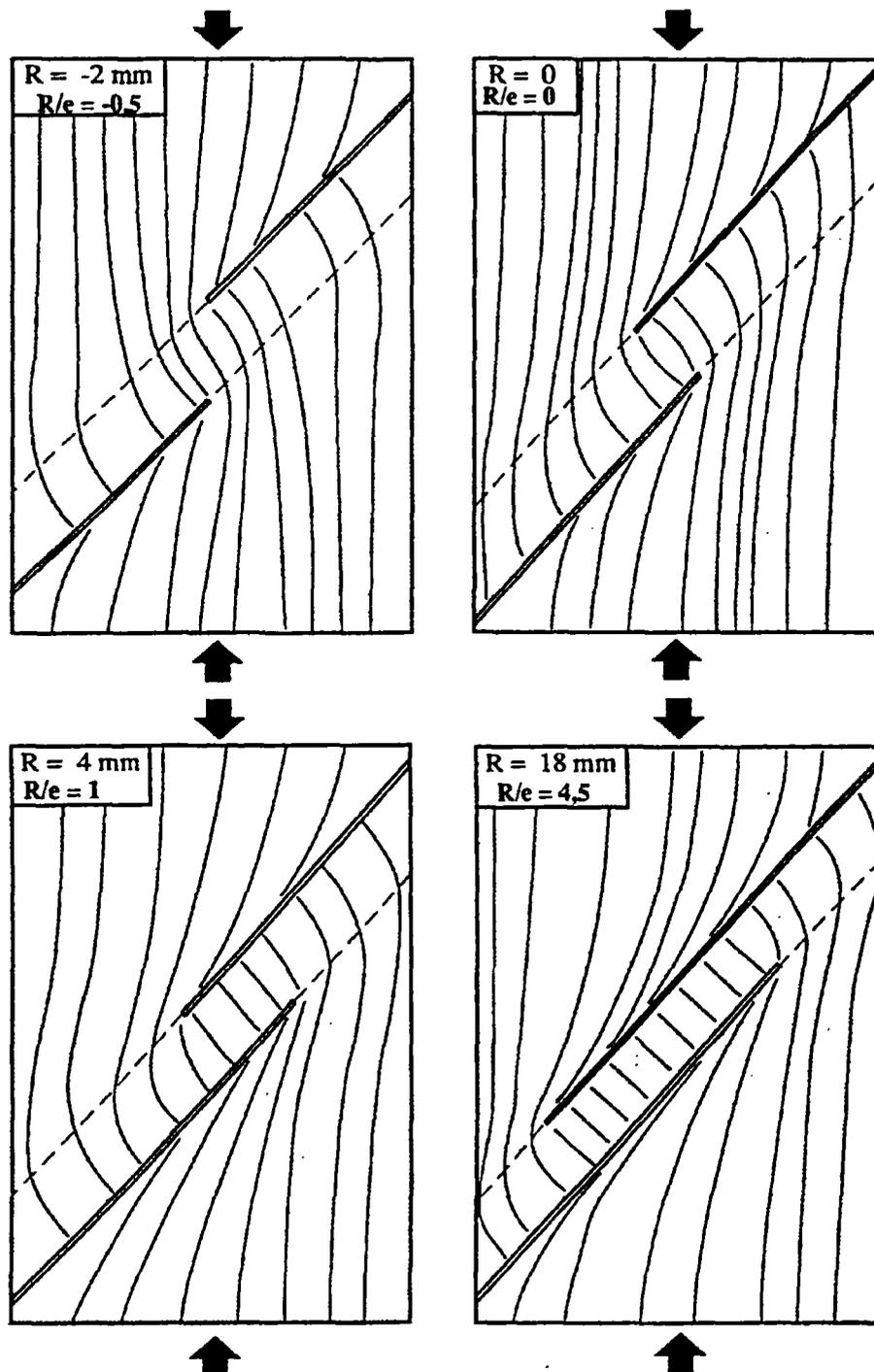


Fig. 16 : Évolution de la distribution des trajectoires de σ_1 en fonction du recouvrement pour le cas d'un relais extensif (Auzias, 1995).

• les points de contact :

Les trajectoires de contraintes convergent fortement vers les points de contact et forment des "ponts" au niveau des vides (figure 17).

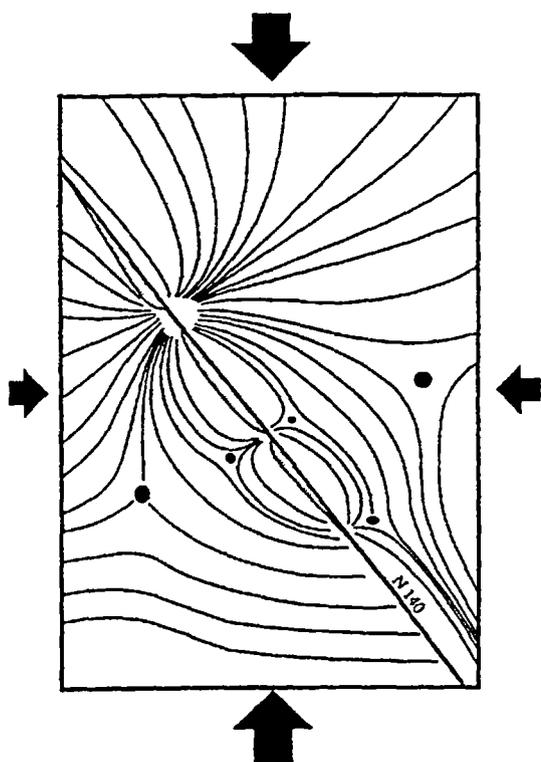


Fig. 17 : Modélisation des trajectoires de σ_1 autour d'une faille avec plusieurs points de contact. Le chargement est biaxial (Auzias, 1995)

- conclusion partielle sur les relations fractures-fluides-contraintes :

Compte tenu des seuls problèmes de perturbations de trajectoires (parmi de nombreux autres) que nous venons de voir, il est évident que **connaître la direction** de la contrainte maximale horizontale (σ_H) **régionale** ne constitue **pas l'obligation** à ce que **toutes les fractures de directions voisines de σ_H (N140 à 150 dans le cas de notre étude) soient toutes dilatées** (et les perpendiculaires refermées), assurant alors un écoulement continu d'axe grossièrement NW-SE.

Bien que cela puisse être vrai à l'échelle de la vision globale des écoulements sur le massif de la Margeride, au fur et à mesure que l'observation se fera plus fine, de nombreux problèmes locaux pourront apparaître.

Ainsi, connaître une valeur ponctuelle de σ_H ne peut que donner une idée de la direction locale de la fracturation ouverte et ne peut en aucun cas être extrapolé au reste de la zone étudiée. Cependant, si une étude du réseau fracturé a été parfaitement réalisée au préalable (différentes échelles de fracturation, nature des fractures, relations géométriques entre fractures, ouverture ou fermeture des fractures, remplissages, etc.), elle permettra alors de supposer des déviations éventuelles des contraintes impliquant alors la connaissance des supports physiques réels des circulations.

II - Méthodologie mise en oeuvre :

Afin d'apporter les éléments d'information structuraux, en terme de description et d'analyse des réseaux de fractures et de mise en relation avec les états de contraintes actuels, qui permettent, à ce stade, de déterminer les réseaux potentiellement les plus favorables du point de vue des circulations d'eau souterraine, nos travaux ont porté sur le traitement de Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.), d'une interprétation linéamentaire de photographies aériennes et de travaux de terrain avec l'appui des cartes topographiques au 1 / 25 000 & au 1 / 50 000 ainsi que des cartes géologiques au 1 / 50 000 du secteur concerné (bassin versant lozérien de la Truyère).

II. 1 - Apports des cartes topographiques :

Ce genre de cartes a permis en premier lieu la détermination de la zone d'étude : le bassin versant lozérien de la Truyère. Pour cela le réseau hydrographique de ce bassin versant a été retranscrit avec précision sur des calques¹ (traits bleus sur la figure 18), puis les limites de crêtes délimitant celui-ci sont identifiées (traits verts - hachures situées en zone externe du b.v.). Enfin ce travail réalisé, il a été tenu compte des contraintes socio-économiques en localisant la limite du groupe de communes englobant le b.v.

La simple observation du réseau hydrographique fait déjà apparaître certaines directions majeures (rivières assez rectilignes sur de grandes distances), telles que : N140 à 150, N40 à 60 et plus discrètement N-S et N90 à 110.

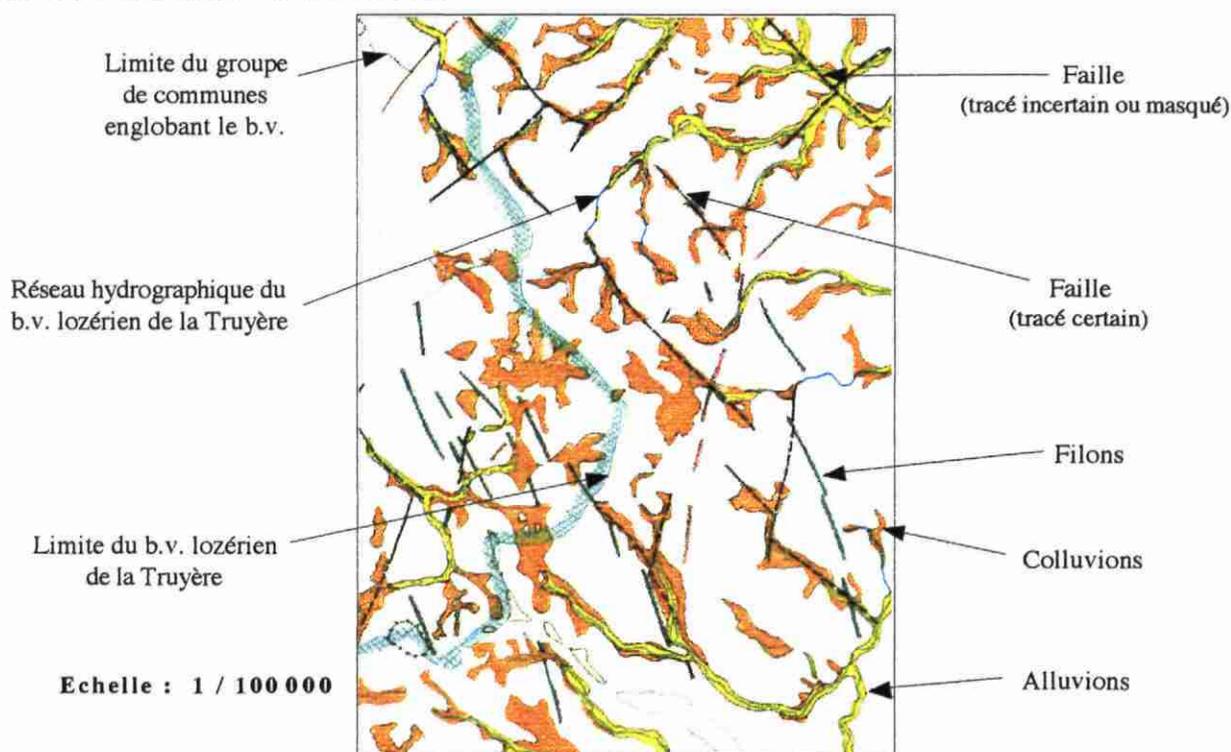


Fig. 18 : Extrait d'une des cartes de synthèse au 1/50000 (Nasbinals) - Réduction par 2

II. 2 - Apports des cartes géologiques :

L'observation des cartes géologiques permet de tirer les grands traits géologiques du secteur et de les reporter sur les calques précédents¹ et par conséquent de se donner une première idée (à

¹ cf. calques de synthèse (au 1 / 50 000) du réseau hydrographique du b.v. lozérien de la Truyère, de la limite du groupe de communes appartenant à ce b.v., de la limite de ce même b.v. ainsi que des formations quaternaires et des failles cartées; soit les cartes intitulées : Chaudes-Aigues, Nasbinals, Saugues et Saint-Chély-d'Apcher.

confirmer par des méthodes d'études plus fines). Il s'agit (figure 18) des formations quaternaires pouvant former des aquifères potentiellement intéressants, des failles pouvant drainer les écoulements ou faire barrière à ceux-ci et des filons, qui selon la littérature, semblent les guider localement.

Les directions de failles les plus courantes sont : N140 à 150 (localement N170) et N20 à 30 (avec quelques N10 et N40), mais aussi des N60. La dernière phase tectonique identifiée dans la région étant une phase compressive N-S (cf. paragraphe I. 1), nous pouvons présager d'une continuité des plans des fractures subméridiennes (jeux cisailants) et une rupture de continuité des plans perpendiculaires car décalés par les précédents). Ces remarques étant bien entendu à vérifier lors d'un travail de terrain.

Les relations "failles-formations quaternaires" sont à étudier avec attention, des failles récentes pouvant affecter des formations quaternaires et faire alors office de "verrous" (failles reconnues et obliques aux formations), individualisant des nappes qu'il serait intéressant d'étudier plus en détail. Dans d'autres cas les failles peuvent assurer le rôle de drain dans ces formations et par conséquent alimenter (ou vidanger) les aquifères potentiels. Ce travail pourra faire l'objet d'une étude attentive après compléments par la photo-interprétation et un contrôle rigoureux sur le terrain des linéaments observés et de leur impact sur les formations récentes. L'idéal étant d'identifier une fracture drainante dans (ou en contact sous-jacent) un aquifère situé dans une formation quaternaire épaisse, une faille oblique faisant office de barrière en aval des écoulements, obligeant alors à une alimentation de l'aquifère supérieur (figure 19).

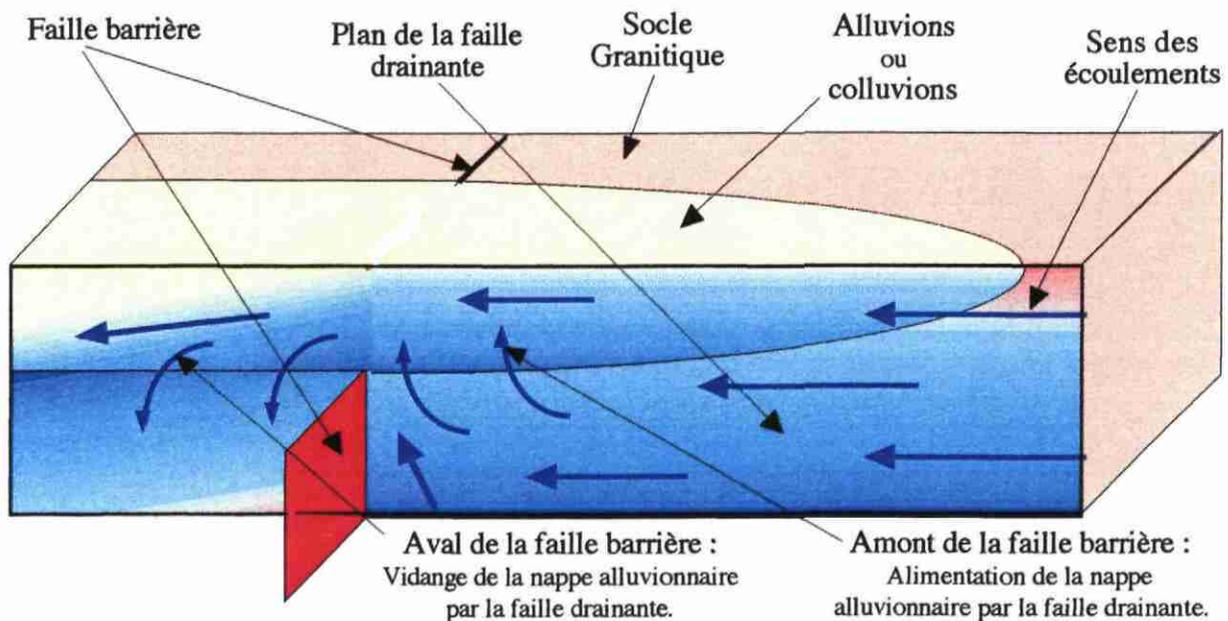


Fig. 19 : Cas de figure favorable à la formation d'un aquifère significatif dans une formation quaternaire superficielle en fonction des relations avec différents types de fractures.

II. 3 - Les M.N.T. :

Les Modèles Numériques de terrains (M.N.T.) sont des modes de traitement de différents types d'informations présentés sous formes numériques et destinés à être utilisés sur des modeleurs informatiques 3D ou sous forme de cartes. Il peut s'agir de la représentation de la topographie ou autre.

Dans le cas présent des cartes de pentes nous ont été fournies. Il s'agit plus précisément de la

transformation de la topographie en valeurs de pente suite à l'application d'un maillage fin (50 m) sur celle-ci, la différence de cote entre deux points donnant la pente.

- reconnaissance de linéaments imputables aux failles sur les M.N.T. :

L'idée est de mieux faire ressortir les effets possibles des failles sur la topographie. Ainsi, de manière simplifiée on peut déterminer deux principaux types de morphologies :

- faille située au pied d'un escarpement (figure 20a), la faille est alors en limite de zone à pente forte;
- creusement d'une vallée sur une faille (figure 21a), la faille est alors en milieu de zone à pente faible.

Cependant, il existe quelques limites à la localisation précise des failles selon ce principe. L'évolution morphologique peut avoir été plus rapide ou plus longue, se traduisant par des reliefs plus émoussés (figures 20b et 21b) (reculs de pentes, élargissements, etc.). Certains escarpements peuvent tout simplement résulter de l'orientation de la foliation localement plus inclinée au sein des granites. Des failles peuvent ainsi être vues sur les cartes géologiques et ne pas laisser de signatures particulières sur les M.N.T..

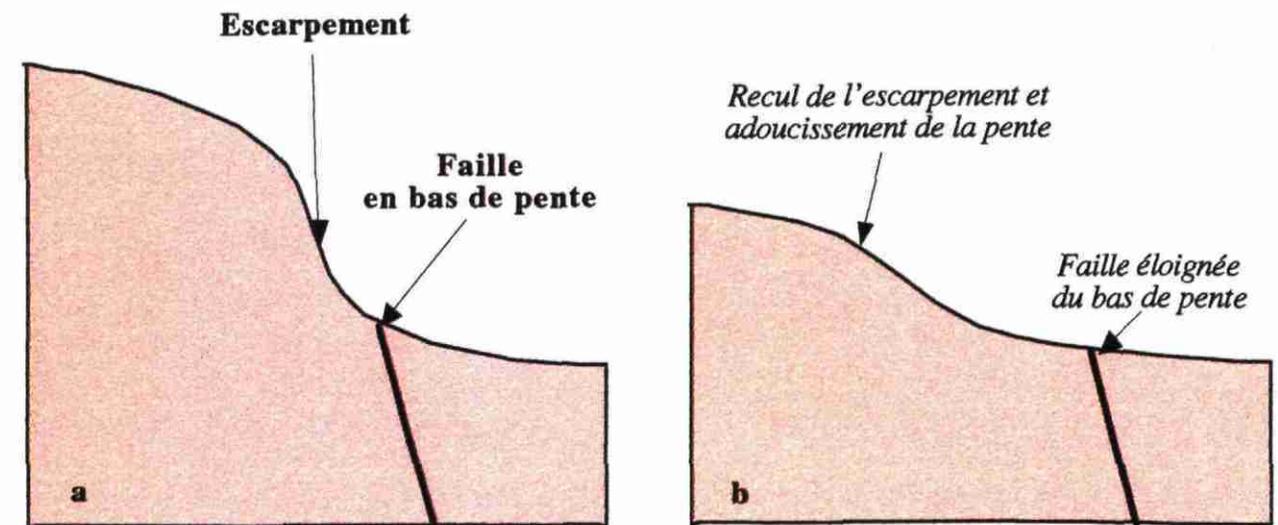


Fig. 20 : Localisation d'une faille par rapport à son effet sur la morphologie : cas des escarpements.
a) fort escarpement, la faille (assez récente) est située en base de celui-ci;
b) une faille plus ancienne se marque par une pente plus douce et un recul de l'escarpement.

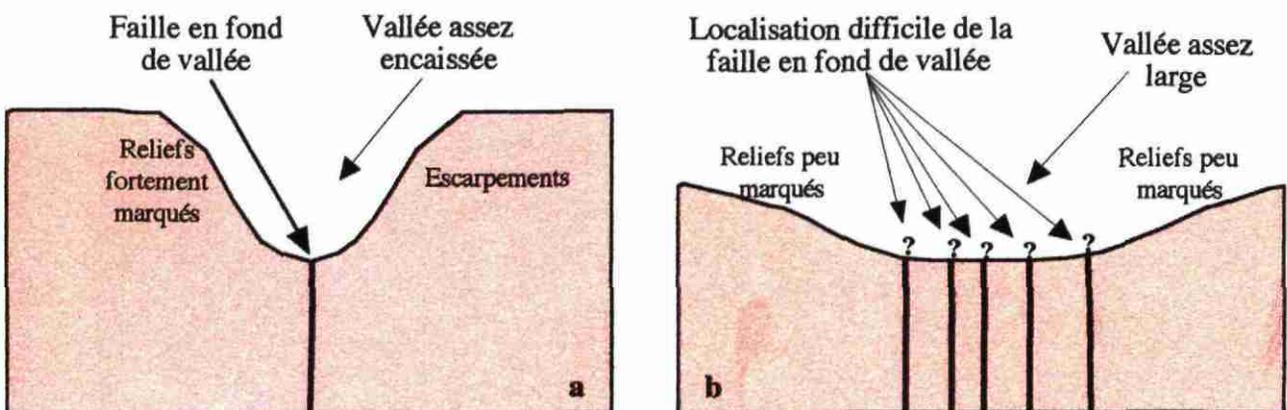


Fig. 21 : Localisation d'une faille par rapport à son effet sur la morphologie : création de vallée.
a) vallée encaissée, la faille (assez récente) au milieu de celle-ci;
b) vallée large et reliefs peu marqués, la faille (plus ancienne) est difficile à localiser en fond de vallée.

Deux grands types de linéaments sont donc identifiables sur les M.N.T. :

- au milieu de zones allongées indiquant des *pentés fortes* ($\geq 25\%$) (mais la faille est à gauche ou à droite en pied de pente d'où le contrôle nécessaire sur les cartes topographiques) (figure 22);
- au milieu de zones très allongées indiquant des *pentés très faibles* ($\leq 5\%$) (la faille est au milieu de la zone, sauf éventuellement dans le cas de larges plaines) (figure 23).

Dans ce cas, il faut revenir à la carte topographique pour préciser l'emplacement de la faille.

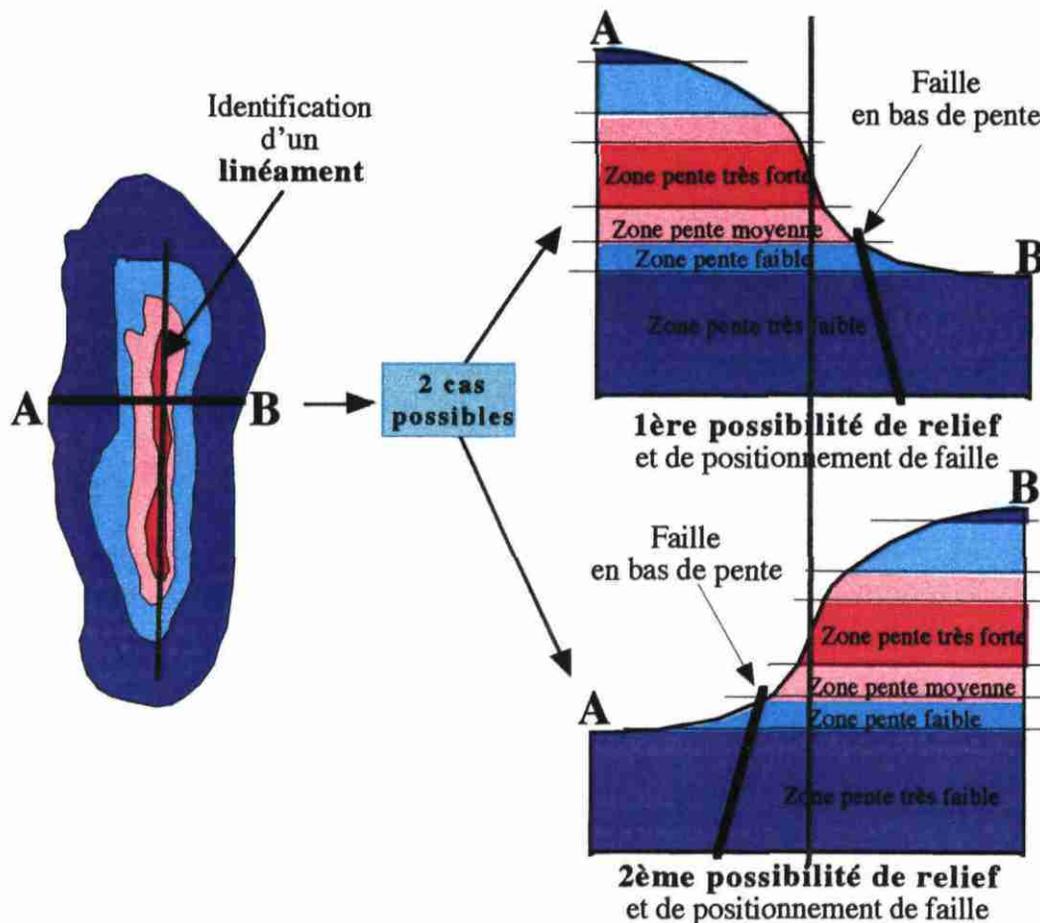


Fig. 22 : Localisations possibles de la faille par rapport à un linéament sur pente forte.

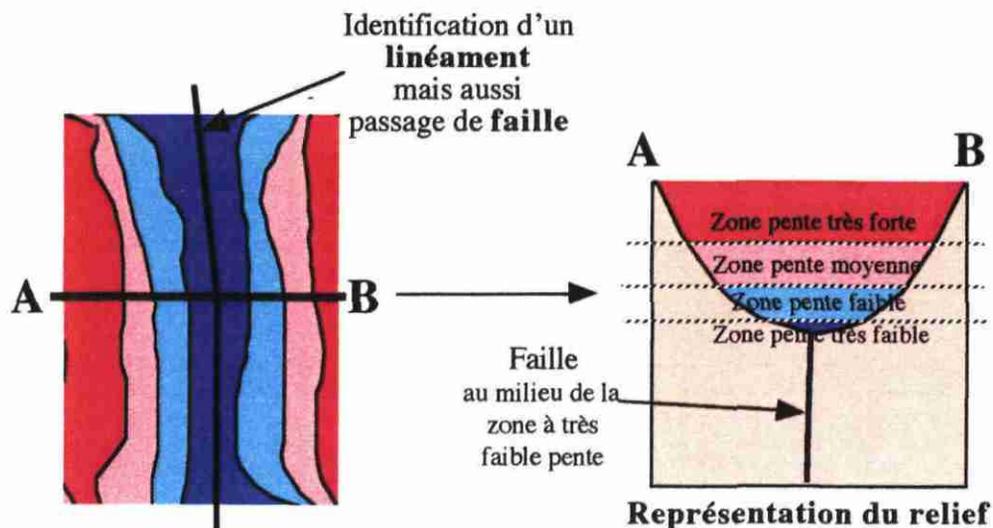


Fig. 23 : Localisation de la faille par rapport à un linéament sur pente faible.

A signaler aussi le cas des linéaments doubles sur pentes fortes. Ils sont souvent associés à un linéament sur pente faible situé en position intermédiaire. Il s'agit en fait d'une vallée très encaissée (escarpements bilatéraux), la faille doit être placée entre les deux linéaments dans la zone à plus faible pente. La figure 23, dont l'encaissement de la vallée a été volontairement exagéré, laisse déjà apparaître ce type de situation, car nous aurions pu tracer, de part et d'autre du fond, des linéaments sur pente forte (N.B. : ce système peut aussi bien être celui d'un graben avec des failles dans les zones de pentes moyennes -cas peu probable ici). Toutefois, sur les M.N.T. du bassin versant lozérien de la Truyère, les deux types de linéaments ne sont que rarement associés.

Les M.N.T. des cartes des pentes servent à visualiser de manière synthétique certains accidents mais ils ne constituent pas le type de document le plus favorable à l'identification des failles par eux-mêmes (précision de 200 à 300 mètres). Ce type d'information doit donc plus intervenir à titre de compléments à d'autres méthodes où des linéaments supposés peuvent alors être certifiés à l'aide de linéaments M.N.T. voisins de même direction.

- principaux résultats de l'étude des M.N.T. des valeurs de pentes :

De manière à ne tracer², dans la mesure du possible, que les linéaments les plus sûrs, nous avons adopté un critère empirique de validation d'un linéament en fonction de la longueur de la zone considérée (> 500 m) et de son rapport de forme ("longueur/largeur" supérieur à 3 ou 4 pour les zones à pente très fortes, et à 5 ou 6 pour les zones à pentes très faibles).

Afin de repérer aisément les linéaments présentés dans le texte suivant, nous avons adopté le mode de repérage présenté en figure 24, s'appliquant à chacun des calques et cartes au 1 / 50 000. Pour exemple, le secteur NE de la zone 8, sera appelé en abrégé : 8NE.

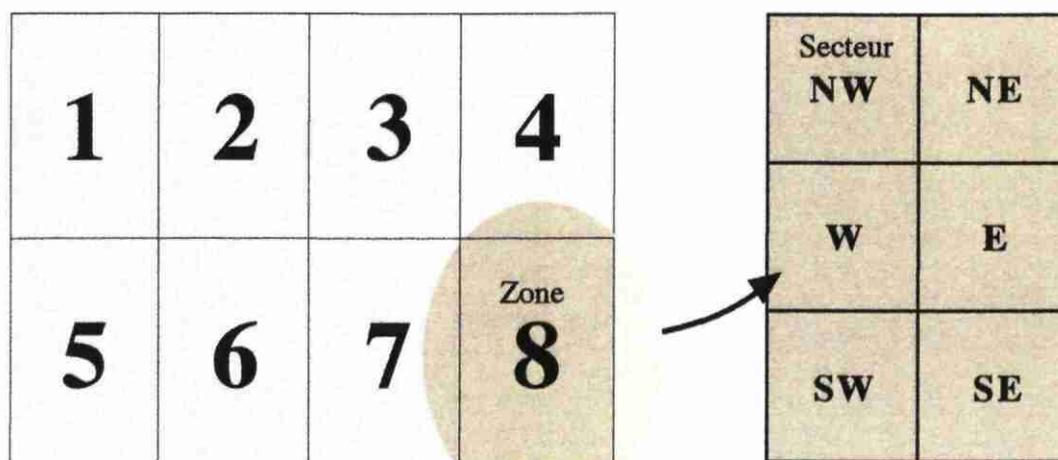


Fig. 24 : Mode de localisation employé dans le texte; 8 zones de 6 secteurs chacune.

- Chaudes-Aigues (carte au 1 / 50 000) :

Dans cette carte au 1 / 50 000, le bassin versant lozérien de la Truyère n'est présent qu'en zone 8, secteurs SW, SE et NE, aussi nous n'aurons que peu d'information. De même, aucune faille n'étant cartée dans ces secteurs, nous ne pourrions pas faire de comparatifs.

Toutefois, des directions de linéaments des deux types sont bien marquées : N120 à 130, N150, et quelques N-S, N40 à 50 et N90. Soit les directions majeures déjà rencontrées sur l'ensemble des cartes géologiques.

² cf. "calques superposés" au 1 / 50 000 Chaudes-Aigues, Saugues, Nasbinals et Saint-Chély-d'Apcher : relevés de linéaments par photo-interprétation et M.N.T.

Quelques linéaments doubles sont remarqués. L'un deux, en 8NE, se superpose sur la carte topographique à une vallée encaissée, et sur la carte géologique à une faille masquée par les alluvions.

- Saugues (carte au 1 / 50 000) :

Dans cette carte au 1 / 50 000, le bassin versant lozérien de la Truyère n'occupe que les zones 1S, 2SW, 5, 6 et 7SW.

Les directions de linéaments majoritairement représentées sont : N-S (N170 principalement), N30 à 50, N120 à 130, N150 à 160, et quelques N90. Soit les directions majeures déjà rencontrées sur l'ensemble des cartes géologiques. Il faut cependant remarquer que ces linéaments ne sont que rarement proches des traces de failles cartées (seuls cas : 1SW, 2SW, 5SW, 5E, 5NW, 6NE).

Le nombre de linéaments est très important. La morphologie de cette partie du b.v. semble être fortement modelée par une fracturation intense. Le nombre de fractures doit être beaucoup plus grand que ce que ne le laisse supposer le nombre de failles cartées sur les cartes géologiques.

La plus grande part des linéaments sont à mettre en rapport avec des vallées (fonds ou escarpements). Mais quelques-uns ne le sont pas (ex. : 5SW) et peuvent résulter de reculs d'escarpements.

Certains linéaments sont assez courts mais sont en fait en continuité les uns des autres (5NW, 5NE, 6SW). La lecture des cartes topographiques montre que cette discontinuité résulte du branchement d'une vallée oblique dans une longue vallée encaissée et assez rectiligne. D'autres sont très longs (plusieurs km) et soulignent des grandes structures très certainement imputables à de grandes failles (5SW, 5E).

- Nasbinals (carte au 1 / 50 000) :

Dans cette carte au 1 / 50 000, le bassin versant lozérien de la Truyère n'occupe que les zones 3SE, 4, 7NE&E et 8.

Les directions de linéaments majoritairement représentées sont : N00, N20 à 30, N130 à 140 et quelques rares N40 à 50 et N90 à 100. Soit à peu près les directions majeures déjà rencontrées sur l'ensemble des cartes géologiques. Il faut cependant remarquer que ces linéaments ne sont que rarement proches des failles cartées (seuls cas : 4NE [parfaite superposition sur un fond de vallée], 4W, 4SE et faiblement en 8E). A noter que les directions rencontrées ici sont très légèrement différentes de celles de la carte précédente.

Les mêmes remarques d'ordre général, quant à la discontinuité de certains linéaments, sont aussi applicables ici (4NW vers 4E).

- Saint-Chély-d'Apcher (carte au 1 / 50 000) :

Dans cette carte au 1 / 50 000, le bassin versant lozérien de la Truyère occupe l'ensemble des zones.

Trois directions de linéaments (des deux types) sont les plus fréquemment représentées : N170 à 10, N30 à 50 et N140 à 150. On peut remarquer localement des directions N120 à 130 (5NW) et N160 et de très rares N85 (1SE).

Beaucoup de failles cartées sur les cartes géologiques sont localement bordées ou couvertes par des linéaments. Or deux d'entre eux, de grands linéaments subméridiens (sur pentes fortes) traversant la zone 2, ont pour particularité de tourner vers la gauche en base de tracé, s'éloignant ainsi des tracés de failles (le linéament de gauche semble, dans sa partie haute, s'éloigner aussi du tracé de la faille, mais vers la droite, formant ainsi un grand "S" étiré en hauteur).

Les mêmes remarques d'ordre général, quant à la discontinuité de certains linéaments, sont aussi applicables ici.

- Synthèse des M.N.T. (cartes au 1 / 50 000) :

Les principales directions de linéaments sont (avec de légères variations locales) :

- $N25 \pm 5$; $N90 \pm 5$; $N125 \pm 5$; $N155 \pm 5$

qui correspondent à la quasi-totalité des directions de failles cartées sur les cartes géologiques;

- $N0 \pm 10$; $N45 \pm 5$;

qui ne correspondent qu'à de très rares directions de failles cartées.

L'ensemble de ces directions était déjà décelable de par l'allure du réseau hydrographique.

Les failles cartées sur les cartes géologiques ne sont pas systématiquement identifiées par un linéament sur les M.N.T.. Cela est même peu souvent le cas. Celles qui le sont, ne le sont le plus souvent que sur de petites parties. A noter, deux linéaments, qui suivent de grandes failles sur une longue distance et s'écartent de celles-ci aux extrémités; cette géométrie faisant penser à une terminaison de faille décrochante (queue de cheval) dextre.

II. 4 - La photo-interprétation :

La photo-interprétation est la méthode la plus courante par rapport à l'analyse géomorphologique (fracturation, stratigraphie). Elle se base sur l'effet de la fracturation sur la topographie (escarpements, vallées relativement rectilignes, décalages de couches à l'affleurement ...) mais aussi sur son impact sur la couverture végétale (linéaments d'arbres plus grands ou différents dans une forêt, différences de teintes dans un champ [comme c'est le cas très connus des tranchées de la première guerre mondiale, dans le nord, ainsi que de nombreux sites gallo-romains], ...).

Dans le cadre de notre étude, le but est d'obtenir la cartographie la plus détaillée possible de la fracturation à cette échelle d'observation, avant vérification sur le terrain. Nous chercherons donc ici à reconnaître le maximum de linéaments imputables à de la fracturation, les principales orientations de fractures, la densité de fracturation (à cette échelle), les relations entre les différentes familles de fractures (croisées, butées, traversées) et les perturbations possibles (orientation, butée, ...) entre fractures.

Sur les calques présentés², beaucoup de tracés de linéaments sont en pointillés (tracés incertains ou masqués). La plus grande partie est en fait en fonds de vallées (vallées assez rectilignes), les fractures responsables de cette morphologie sont vraisemblablement masquées sous des alluvions modernes (à vérifier si possible sur le terrain). Certains sont en traits pleins car leurs "signatures" (effets sur la morphologie) sont incontestables.

Indépendamment d'une erreur possible d'interprétation (linéament n'étant pas imputable à une fracture; possibilité très faible a priori), la validité de positionnement d'un linéament dépend de deux paramètres : "positionnement sur la photographie" et "recopiage sur le calque".

Le premier dépend de la qualité de la photographie et de la "lisibilité" du linéament (marbrure dans un champ, fracture masquée par des alluvions modernes, retrait d'escarpement, etc.). Le second dépend du mode de recopiage sur le calque. Or pour celui-ci, le relevé sur photographie a été numérisé avec des points repères en divers points (croisements de routes, villages, etc.) qui, outre le gain de temps, ont permis de calculer des taux de réductions précis en N-S et E-W. De plus lors du

recopiage sur le calque avec pour fond la carte topographique, si ces mêmes points repères sont légèrement décalés, il suffit d'adopter le même décalage pour les linéaments proches.

Ainsi si l'**erreur** due à l'**interprétation** sur photographie peut être estimée à **50 m maximum** (rarement 100 m pour les fractures sous les vastes couvertures d'alluvions ou d'éboulis), l'**erreur** due au **recopiage** sur calques au 1 / 50 000 est quant à elle considérablement réduite et peut être considérée, compte tenu de l'échelle, **inférieure à 20 m**, soit une **erreur totale** estimée souvent **voisine de 50 à 70 m** (≈ 1 mm sur les calques).

En fonction du stéréoscope utilisé, deux échelles d'observation étaient proposées (grossissements x1 et x3). Le grossissement x3 n'a que rarement été utilisé - seulement lors de doutes - car l'interprétation au grossissement x1 a amené à la cartographie de très nombreux linéaments, une observation plus détaillée n'aurait fait qu'apporter une forte confusion, l'agencement entre fracture devenant ardue à mettre en valeur (difficulté de lecture). De plus, compte tenu de la superficie de la zone à traiter qui conditionne l'échelle de travail retenue, nous n'avons pas le temps de sur-détailler la cartographie de la fracturation par photo-interprétation (plus d'une centaine d'heures ont néanmoins été passées à la réalisation de ces cartes).

Les linéaments tracés sont bien entendu à mettre en relation avec une étude approfondie sur le terrain (recherche de failles sur des affleurements sur des passages de certains linéaments) afin de valider ce travail. Cependant, il faudra faire très attention à l'important saut d'échelle d'observation.

- principaux résultats de la photo-interprétation :

En préambule, nous pouvons dire que le relief bien que très vallonné, semble très émoussé. Peu de falaises bien marquées permettent la localisation d'une faille. Seuls quelques escarpements signalent celles-ci. Les linéaments n'en demeurent pas moins visibles de par l'aspect rectiligne de nombreuses vallées, mais les fractures responsables sont par conséquent masquées sous les alluvions modernes.

Une grande constance dans la distribution des vallées est reconnue, donnant souvent une impression de déjà vu, impliquant une fracturation semblable sur l'ensemble du bassin versant lozérien de la Truyère.

Le nombre de linéaments vus en photo-interprétation est beaucoup plus grand que celui des linéaments de type M.N.T., qui étaient déjà bien plus nombreux que les failles cartées sur les cartes géologiques. Compte tenu du temps qui nous était donné pour l'étude, le comptage n'a pas été réalisé mais il semble que si le nombre de failles cartées doit se compter en dizaines, celui des linéaments photo doit l'être en milliers. Il serait d'ailleurs judicieux de réaliser des comptages par familles directionnelles de linéaments (en nombres ou en longueurs cumulées).

Des calques de synthèse sont réalisés, ils reprennent les informations les plus sûres car vues conjointement par les différentes cartes établies au cours de cette étude.

- Chaudes-Aigues (carte au 1 / 50 000) :

Comme il l'a déjà été signalé lors de l'étude des M.N.T., cette carte ne représente qu'une très petite partie du bassin versant (une partie de la zone 8 seulement). Aussi nous n'aurons que très peu d'informations ici.

Toutefois on peut signaler, en secteur SE, la superposition d'un linéament avec un de type M.N.T. sur fond de vallée, de même qu'en secteur NE, l'encadrement d'un linéament par un linéament double de M.N.T. (déjà identifié en temps que faille sur la carte géologique). En fait, la

plus grande partie des linéaments M.N.T. sont très proches des linéaments tirés de la photographie.

Bien que plus nombreux, les linéaments tirés de la photographie présentent la même gamme de directions que pour les M.N.T., soit : N170 à 10 plus présente, N30 à 50, un large éventail N120 à N150 (sans doute à subdiviser en deux familles), et quelques N80 et N110.

Sur une si petite zone, on ne peut présumer de relations géométriques entre les différentes familles directionnelles de linéaments.

- Saugues (carte au 1 / 50 000) :

La surface occupée par le bassin versant lozérien de la Truyère, représente ici près de la moitié de la carte au 1 / 50 000 de Saugues. Elle est par conséquent déjà assez représentative.

Les directions remarquées sont semblables à celles vues sur les M.N.T. Deux directions semblent dominantes : N30 à 40 (voire N60) et N140 à 160. Les directions N-S et E-W sont tout de même bien représentées.

Des linéaments se superposent avec les failles cartées (1SW, 2SW, 5NW, 5E et le plus long en 5N). Mais ces dernières ne sont jamais recouvertes en totalité. Certains linéaments sont en poursuite des failles cartées (5SW, 5E). D'autres sont en position légèrement décalée ou font des "ponts" entre deux failles (6W à 6SW). Cela demande à être vérifié sur le terrain.

Si l'allure générale des linéaments est rectiligne, certains grands linéaments sont courbes (linéaments NW-SE en 5SW et 5NE) ou finissent par une courbure (grand linéament NW-SE finissant en 6E). En fonction du fort rayon de courbure, ces terminaisons ne semblent pas résulter d'un effet de pendage sur des reliefs ("V" dans les vallées et sur les collines), mais semble indiquer l'amortissement des fractures.

Il est à remarquer que les plus grands linéaments s'inscrivent dans une large gamme de direction NW-SE et quelques N-S, alors que ceux plus NE-SW sont plus courts et rectilignes (sauf exception en 7SW).

Une lecture attentive de la carte indique quelques préférences dans les relations entre fractures. Les linéaments NE-SW butent assez souvent sur les linéaments N-S et NW-SE (1SE, 5NW, 5S, 6N) mais peuvent aussi sembler localement continus (6E).

De petits linéaments butant sur un grand linéament NW-SE (5S) ont des orientations différentes de part et d'autre de celui-ci (E-W à l'ouest, NE-SW à l'est). On peut présumer que lors de leur formation, la grande fracture NW-SE était déjà préexistante et certainement ouverte créant une perturbation dans la trajectoire des contraintes de chaque côtés de la faille (qui a pu rejouer légèrement en décrochement).

- Nasbinals (carte au 1 / 50 000) :

Cette carte couvre elle aussi une grande partie du bassin versant lozérien de la Truyère. Toutes les remarques faites sur la carte précédente sont aussi valables ici. Les directions sont sensiblement les mêmes mais un peu moins orientée à l'est soit : N20 à 30, N120 à 140, la direction N-S étant mieux représentée et quelques N60 et N90 sont présentes.

Les failles cartées sont localement retrouvées (4NE - poursuite d'un linéament vu en 8SE sur la carte de Chaudes-Aigues) que ce soit par des segments superposés (4SE) ou proches (8E).

Les plus grands linéaments sont les NW-SE, quelques-uns sont courbes soit sur leurs extrémités (7NE, 7SE) soit dans leur entier (3SE - linéaments subméridiens). Les relations butantes sont les mêmes (NE-SW sur NW-SE - ex. : secteurs ouest de la zone 8). Quelques cas de

branchements d'orientations différentes de part et d'autre d'un grand linéament NW-SE sont aussi observables, comme c'est le cas en 8NE, dont la géométrie fait vraiment penser à une terminaison de faille ayant rejoué en cisaillement sénestre (figure 25).

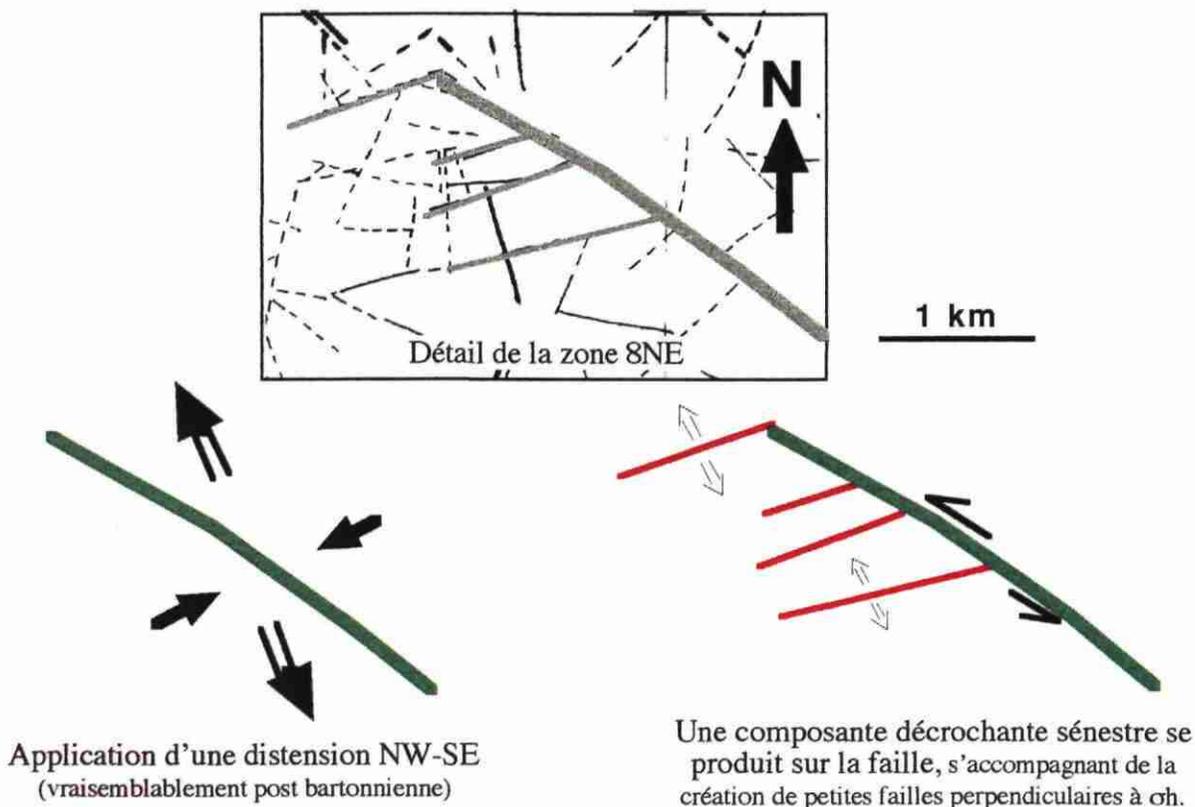


Fig. 25 : Mécanisme probablement responsable de la géométrie observée en 8NE.

- Saint-Chély-d'Apcher (carte au 1 / 50 000) :

Cette carte couvre pratiquement la moitié du bassin versant lozérien de la Truyère. Les caractéristiques générales sont les mêmes que pour les autres cartes.

Mais il semble qu'au nord d'un axe N60 allant de 6W (Javols) à 4SW (forêt d'Espinousse), constitué d'un relais de failles d'environ 20 km, l'orientation des failles majoritairement représentées décrit un large éventail. A l'ouest, en 5SW la direction la plus visible est N110, puis en 5NW elle est N130 et passe progressivement à N150 en zone 1 pour finir en N-S en zone 3 voire même N20 en partie est de la zone 3. Alors qu'au sud de cet axe, la direction la mieux représentée reste constante et est celle de grands linéaments voisins de N150.

Les grandes failles N160 de la zone 2, déjà cartées sur les cartes géologiques, sont retrouvées sur de longues distances mais environ 150 m à l'ouest. De plus, la terminaison sud de ces failles se fait selon une grande courbure vers l'ouest, comme il l'a déjà été remarqué sur les autres cartes, mais ces exemples sont parfaits. L'une d'elle, en forme de "S" étiré, présente des petits linéaments NE-SW dans la partie interne de sa courbure sud, alors qu'il n'y a aucun linéament dans la partie externe. Cela semble indiquer un jeu décrochant dextre qui peut résulter de la dernière phase tectonique connue (compression N-S).

- synthèse de la photo-interprétation (cartes au 1 / 50 000) :

La première remarque est la constance de la distribution et de l'agencement de la fracturation sur le bassin versant lozérien de la Truyère, si ce n'est à l'échelle du bassin versant lui-même (voir remarque sur Saint-Chély-d'Apcher).

Les directions majeures sont : N-S (N170 à N10), NW-SE (en deux sous groupes : N125 ± 5 et N145 ± 5) et NE-SW (en deux sous groupes : N30 ± 10 et N55 ± 5) et quelques E-W.

Les linéaments les plus continus sont les NW-SE. Ils présentent des ondulations de petite amplitude. Les linéaments NE-SW, plus petits et rectilignes, butent souvent sur les précédents.

Les linéaments issus de l'étude des M.N.T. sont presque tous confirmés par la photo-interprétation.

La quasi-totalité des failles cartées sur les cartes géologiques sont elles aussi retrouvées lors de cette étude. Mais elles ne le sont que de manière fragmentée. Certains linéaments photographiques sont parfois légèrement décalés par rapport à ces failles (cela demandant confirmation sur le terrain). Il faut noter que les failles cartées sont toutes parfaitement rectilignes, alors que les linéaments que nous avons tracé montrent que ces failles devraient se terminer par de larges courbures.

Ces courbures aux extrémités de failles, associées au fait que nous observons des petites fractures obliques connectées aux failles uniquement dans les courbures, semble indiquer une forte composante décrochante sur ces grandes failles NW-SE (cela demandant aussi à être confirmé par des observations de terrain).

Ce travail aurait pu être réalisé avec des photographies infrarouge (documents de l'Inventaire Forestier National), où la lecture est rendue plus aisée par la couleur qui permet un meilleur contraste au sein de la végétation, mais aussi par la très bonne qualité des photos (documents très récents; finesse de la définition). Ce type de document pourra être utilisé pour préciser le détail de la fracturation à l'échelle des sites de prospection.

II. 5 - Les travaux de terrain :

Le but du travail de terrain est de vérifier la qualité des travaux de photo-interprétation et de M.N.T. (fracture véritable, justesse du positionnement). Cette vérification devant être complétée par une étude microtectonique permettant de déterminer la nature de ces fractures (grandes diaclases; failles normales, inverses ou décrochantes, en fonction des critères de mouvement sur les miroirs de failles en roches non calcaires [Petit & al., 1983]). On observera aussi les relations entre les différentes familles directionnelles de failles, l'ouverture préférentielle et la présence probable d'eau sur certaines directions.

Le passage à cette échelle d'observation s'accompagne d'un saut d'échelle considérable par rapport aux travaux précédents (M.N.T., photo-interprétation). La densité de fracturation sera beaucoup plus grande, ce qui apparaît comme un linéament simple pouvant s'avérer être sur le terrain un cortège de fractures.

Bien que très vallonnée, cette région présente un relief très émoussé, si bien que les grands affleurements sont difficiles à trouver (aucun n'a été repéré en photo-interprétation). Notre politique de recherche a donc consisté à parcourir l'ensemble du bassin versant lozérien de la Truyère selon des itinéraires faisant des zigzags d'est en ouest, afin de recouper le maximum de structures que nous avons repéré en photo-interprétation ainsi que de retrouver les failles cartées et d'en observer les plans.

Ce type de recherche est la mieux adaptée au type de terrain en présence, or la plus grande partie des fractures repérées sont responsables de la création de vallées. Ces failles en fond de vallées sont par conséquent masquées par des alluvions modernes. Elles sont donc très difficiles à retrouver. Compte tenu de la faible durée de cette approche de terrain, il sera souhaitable de la compléter à l'échelle des sites de prospection.

Toutefois nous avons parcouru entre 300 et 400 km sur le site, ce qui nous a permis de trouver quelques affleurements où la nature des failles et les relations entre les différentes familles directionnelles ont pu être convenablement observées. En ce qui concerne la qualité des stations de relevés microtectoniques, on peut noter que les affleurements en bordure des petites routes sont souvent de vieux affleurements où les plans de failles sont très altérés rendant les stries très difficiles à voir, alors que ceux en bordure de routes plus récentes, semblent "frais", les stries étant parfaitement visibles. De plus, la partie superficielle du granite est fortement altérée, rendant difficiles les observations microtectoniques autres que celles des directions de plans et décalages éventuels.

- les différents arrêts :

Ces arrêts seront présentés de manière succincte de manière à n'exposer que les faits, avant une synthèse finale de ceux-ci où les constantes seront soulignées.

Ces arrêts seront présentés de la manière suivante : n° de l'arrêt, localisation (route, "x" m d'un lieu), descriptif des structures remarquées, photographies (si possible). N.B. : les numéros des arrêts les plus remarquables sont sur fond jaune.

1^{er} itinéraire : Sur la N9 (Saint-Chély-d'Apcher -> La Garde)

But : retrouver un linéament N145 vu en photo-interprétation, des habitants de la région m'ayant signalé des sources que l'on peut vraisemblablement associer avec ce linéament.

① N9 à 350 m au Nord du carrefour avec D8; à l'ouest de la carrière du rocher blanc :

- quelques fractures N100 à 110,
non identifiables -> éboulis, végétation enracinée dans les fractures (sur toute leur longueur)

② N9 Carrière du rocher blanc :

- fractures N120 à 140 (plans ondulants) subverticales, ouverture 0,5 à 3,5 cm, remplissage argileux
- petites failles N110, 80N stries 30E émoussées (photos 1 et 2) -> forte composante décrochante décalent un plan N75, 80N
- la direction N45 est remarquable.

au sud de la carrière :

- faille N135 ± 5, pas de critère de sens de mouvement visible (surface érodée)
fortement ouverte (10 à 30 cm)
remplissage argileux
très humide (zone humide au pied)
cortège de petite fracture parallèles à proximité, sans remplissage
semble être en continuité du linéament N145 passant par La Garde

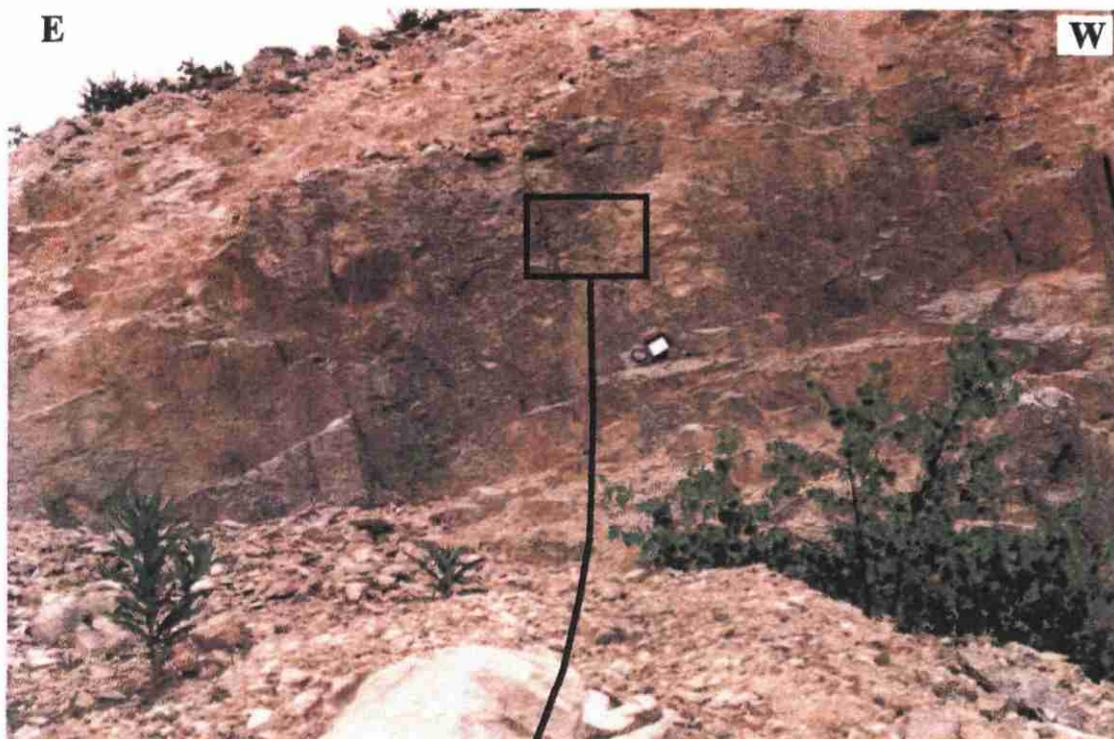


Photo 1 : Plan d'une petite faille N110, 80N stries 30E, dans la carrière du rocher blanc (arrêt 2).

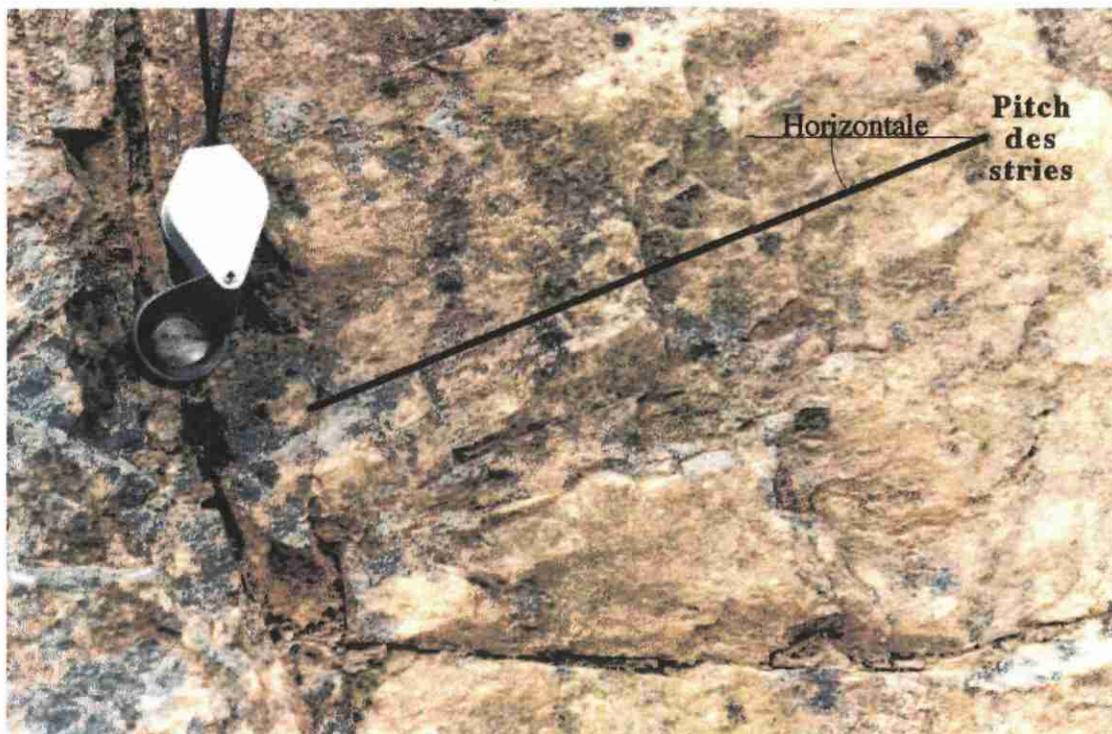


Photo 2 : Détail de la photo 1, stries 30E très émoussées.

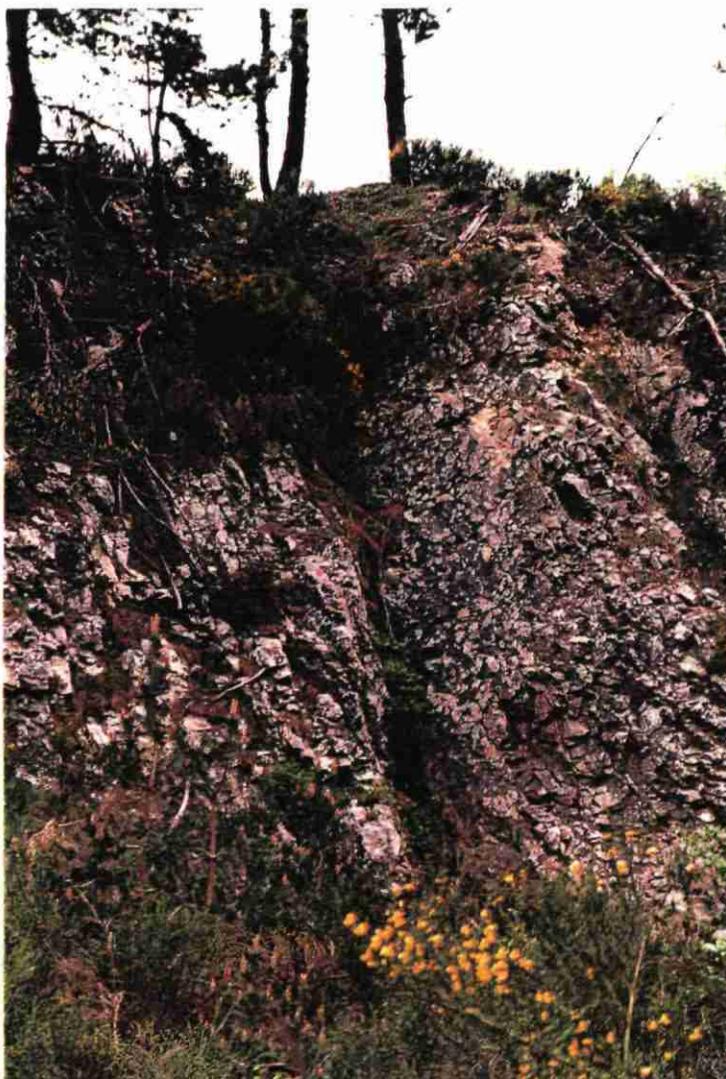


Photo 3 : Faille N135 au sud
de la carrière du rocher blanc

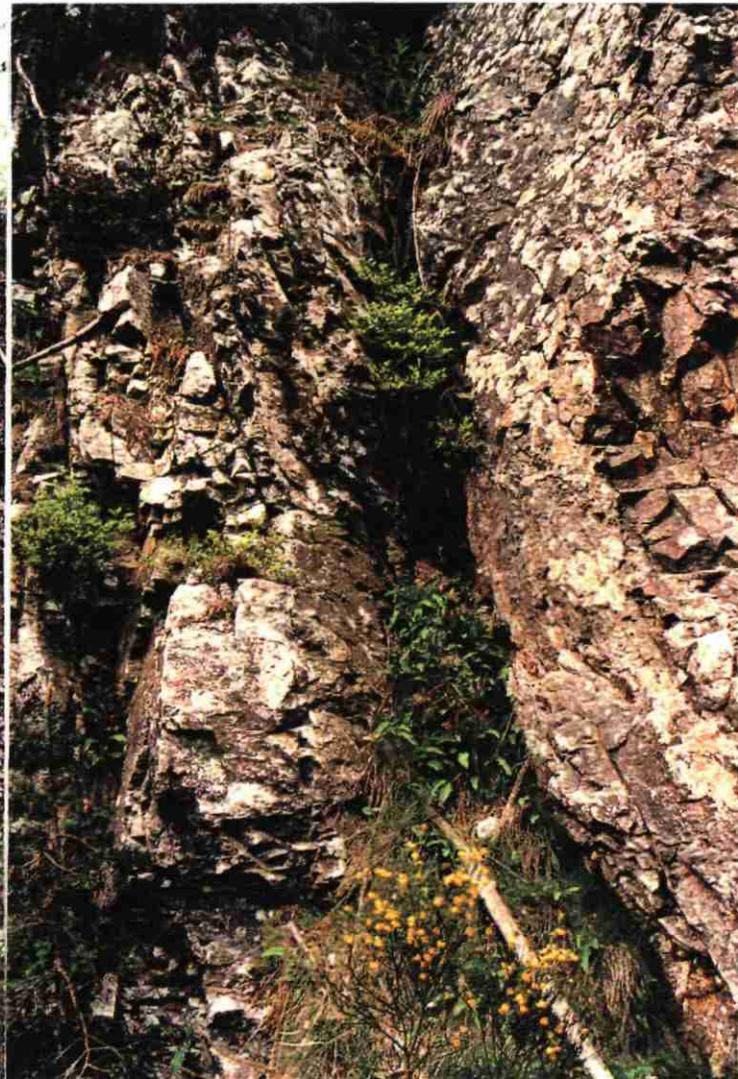


Photo 4 : Détail de la photo 3

2^{ème} itinéraire : D4 (localement D70) (Sud de La Garde -> Le Malzieu-Ville)

But : voir la faille N130 à 160 passant à l'est de Mazeyrac (à 500m) et celle avant Malzieu.

③ D70 :

- source identifiée en bordure de route pas de support visible

④ D70 :

- N40 observée dans un virage pas de stries visibles très petit affleurement

Carrefour D4 / D75 remontée de 2 km vers le nord sur la D75

- pas d'affleurements visibles zones humides d'axes NS et N130

- petite carrière avec zone humide sur fracture N140 et une source dans un champ en continuité sud.

⑤ D4 au lieu-dit "la baraque de Chaffard", dans un petit talus de bord de route :

- affleurement altéré (droite de la route en descendant) autre côté de route très altéré (arène)
- fractures N80 à N100 quelques N10
- en base de fossé : longue fracture N135 en continuité d'un linéament photo
source dans sa continuité, vers le bas de la colline (figure 26)

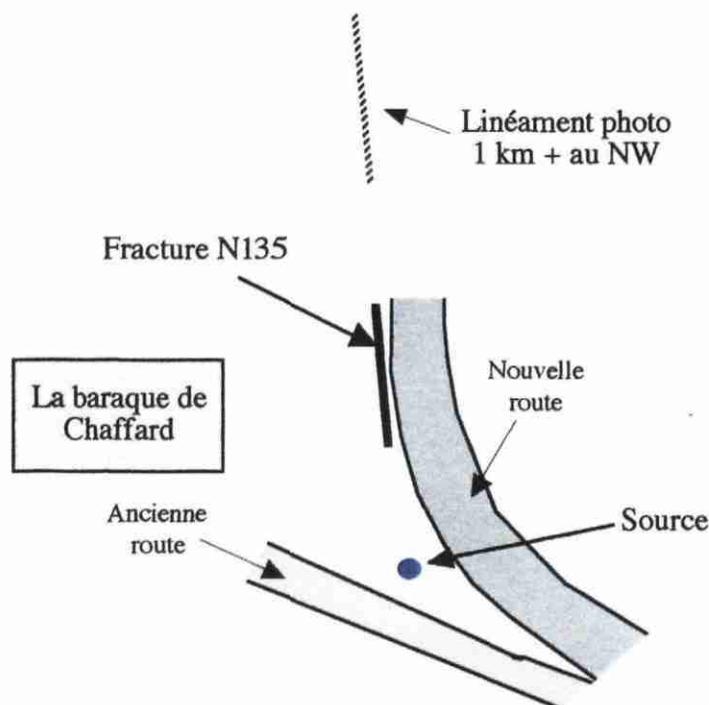


Fig. 26 : Esquisse de la disposition entre source, fracture N135 et linéament photo.

⑥ D4 :

- faille N75 à 80, 85N stries 60W (photo 5) sèche pas de remplissage très altéré.

⑦ D4, 200m après l'arrêt 6 :

- fracture N170, 65W broyage humide source sur petit chemin au-dessus
- 300 m plus bas : série de petites diaclases N160 et quelques N10, 80W
recoupées par des filons de microgranite N55 à N70 associés à de grandes diaclases //

3^{ème} itinéraire : D14 (Le Malzieu-Ville -> Mialanes) :

But : observer la faille N130 à 140 responsable du fort escarpement au-dessus de Mialanes.
(faille non retrouvée)

⑧ D14 :

- source pas de support visible

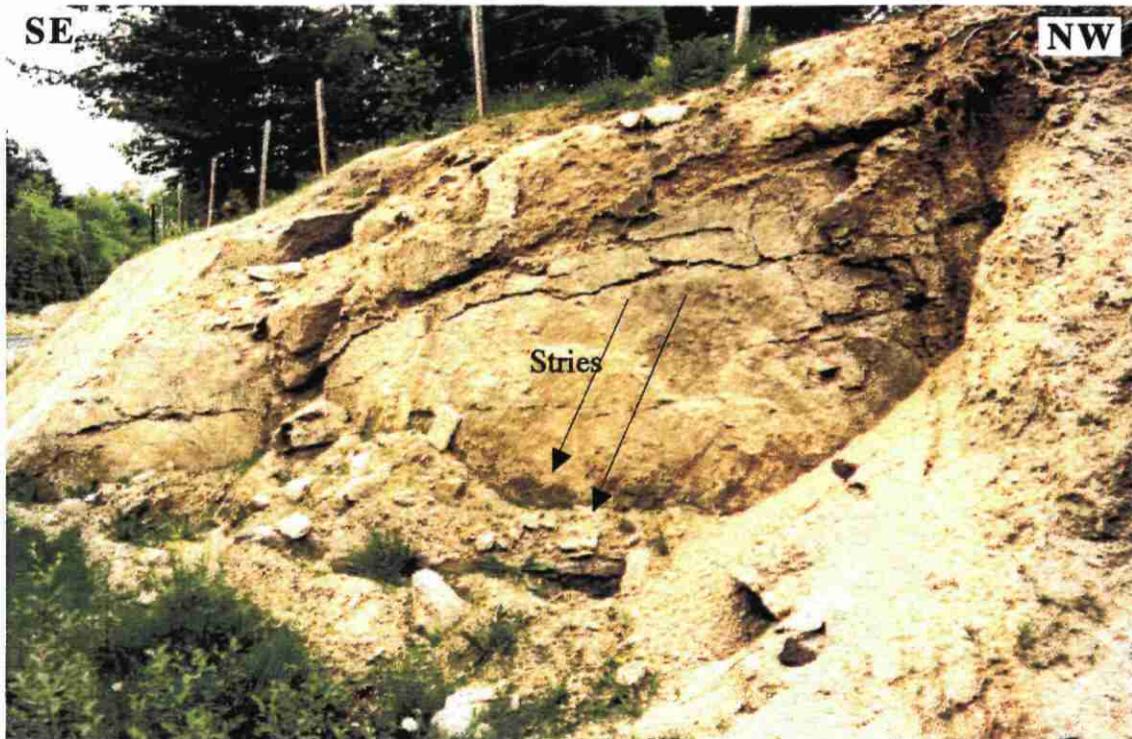


Photo 5 : Faille N75 à 80, 85N stries 60W - arrêt 6.

4^{ème} itinéraire : D989 (Le Malzieu-Ville -> Saint-Chély-d'Apcher) :

⑨ D989 bas de virage 700m au SE d'Ortizet :

- La faille cartée en pointillé (et le linéament photo superposé) existe bien (photo 6)
seule la direction est visible
elle affecte la série miocène



Photo 6 : Faille N160 affectant la série miocène - Arrêt 9.

5^{ème} itinéraire : D75 (Saint-Chély-d'Apcher -> Saint-Léger-du-Malzieu) :

10 D75 avant "les fosses" :

- zone humide sur semble-t-il un axe N45 (étonnant) mais le support n'est pas visible

11 D75 après Rouveyret :

- zone humide sur axe E-W pas de support visible

12 D75 entrée dans Saint-Léger-du-Malzieu (juste après le pont) :

- fracture N45 (non cartée) pas de stries visibles
- en remontant l'affleurement : fractures N10 à N160 (simples diaclases)

6^{ème} itinéraire : (Saint-Léger-du-Malzieu -> Nozerolles) : rien n'a été remarqué

7^{ème} itinéraire : (Saint-Léger-du-Malzieu -> Gizerac) : fontaine dans le village de Gizerac

8^{ème} itinéraire : D47 (Saint-Léger-du-Malzieu -> Le Malzieu-Ville) : rien n'a été remarqué

9^{ème} itinéraire : D4 (Le Malzieu-Ville -> Saint-Alban-sur-Limagnole) :

13 D4 petite carrière au niveau de Villechailles (photo 7) :

- faille N50, 65 à 75E contact Leucogranite / Oligocène en pointe de faille cartographiée

E



W

Photo 7 : Faille N50, 65 à 75E mettant en contact l'Oligocène et les leucogranites. Arrêt 13

14 D4 Juste après “La Gardelle”, au niveau du stop de l’ancienne route :

- failles N140, 45E contact argileux

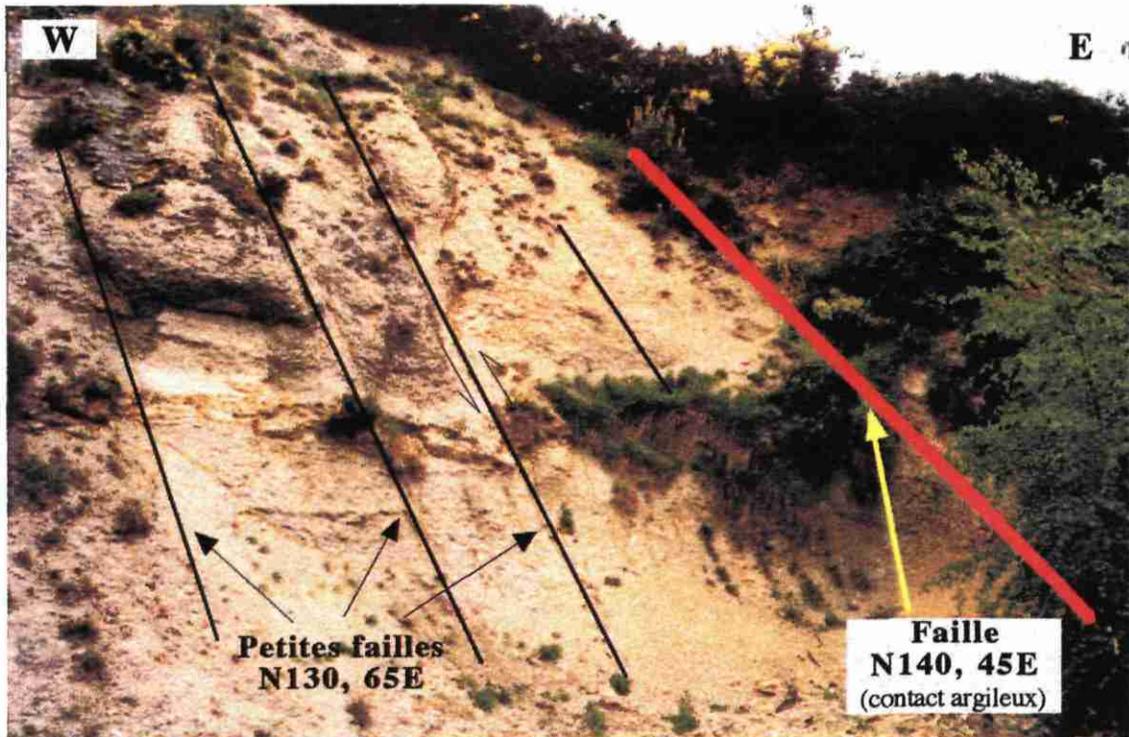


Photo 8 : Faille N140, 45E au contact argileux. Zone très altérée - Arrêt 14.

15 D4 après le pont de “La Gardelle” :

- zone de passage d’une faille (cf. montage photo en annexe)
forte zone affectée
diaclasses associées denses (espacement \approx 10 cm) N165, 90 à 80E

10^{ème} itinéraire : D987 puis D14 (Saint-Alban-sur-Limagnole -> Sainte-Eulalie, via Les Faux) :

16 D987 à la sortie de “Les faux” (photos 9 à 14) :

- présence d’une source captée au niveau d’un linéament photo subméri dien
- faille N00, 60 W (photo 9)
- failles N00 et N175, 70W en photo 10 stries 20S très effacées sur la N175
- faille N90, 75S (photo 11) strie estompées (subhorizontales ?) (photo 12)
dcalée par des failles submériennes N140, 80W (photo 13) stries horizontales
finement ouvertes N05, 85 W (photo 14) stries horizontales

17 D987 après l’embranchement du Charzel (200 à 300m) :

- fracture N85, 80S
dans l’axe d’un linéament photo N95 sur le tracé



Photo 9 : Faille N00 à la sortie de "Les Faux" - Arrêt 16

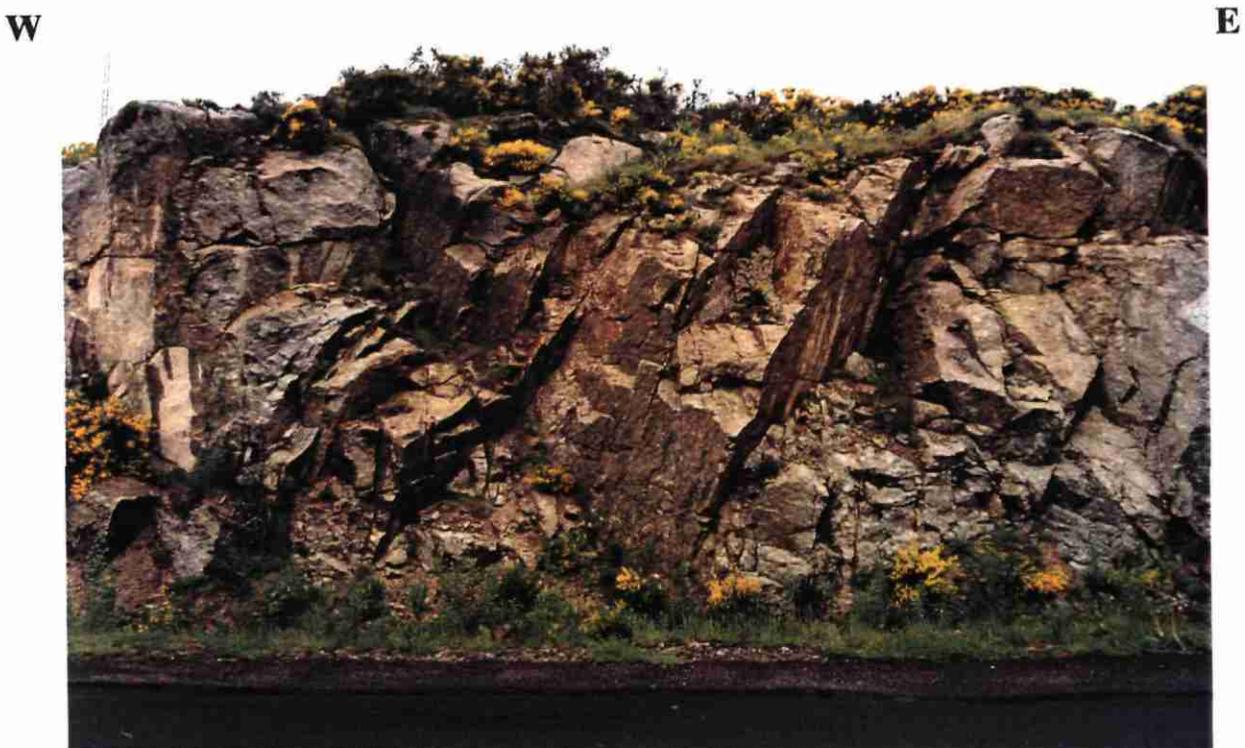


Photo 10 : Failles N00 et N175, 70W à la sortie de "Les Faux" - Arrêt 16

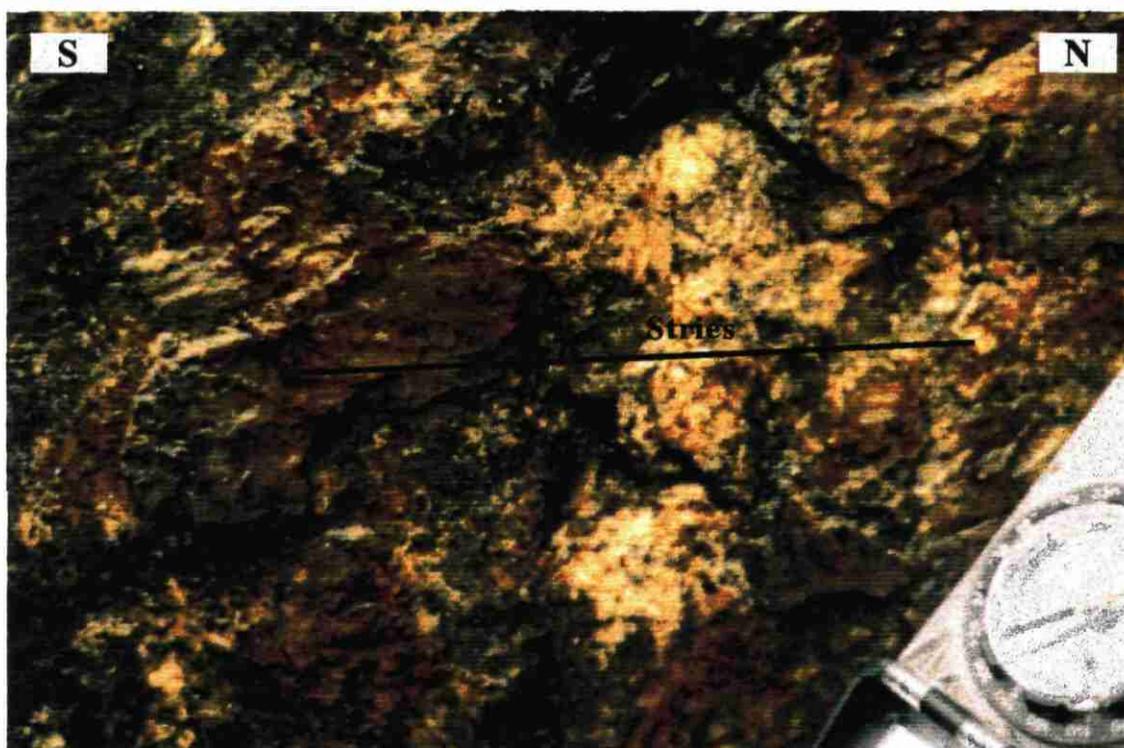


Photo 11 : Détail du plan de la faille N175, 70W à la sortie de “Les Faux” - Arrêt 16

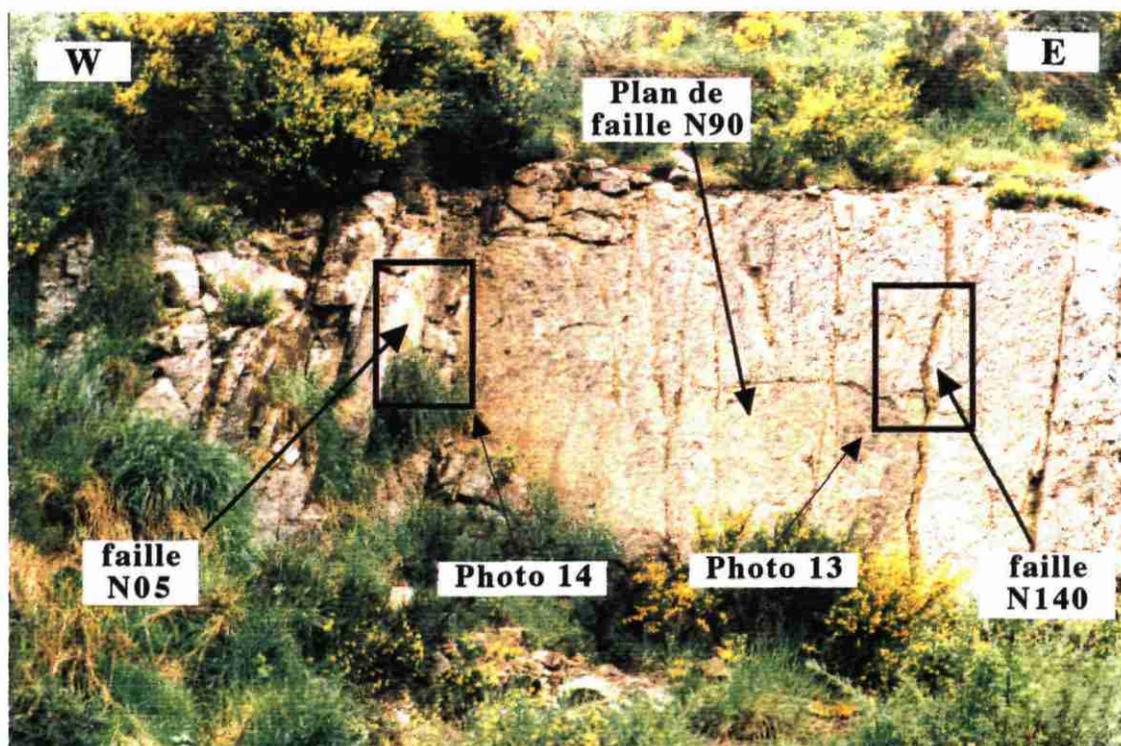


Photo 12 : Plan de faille N90 décalé par des failles à la sortie de “Les Faux” - Arrêt 16

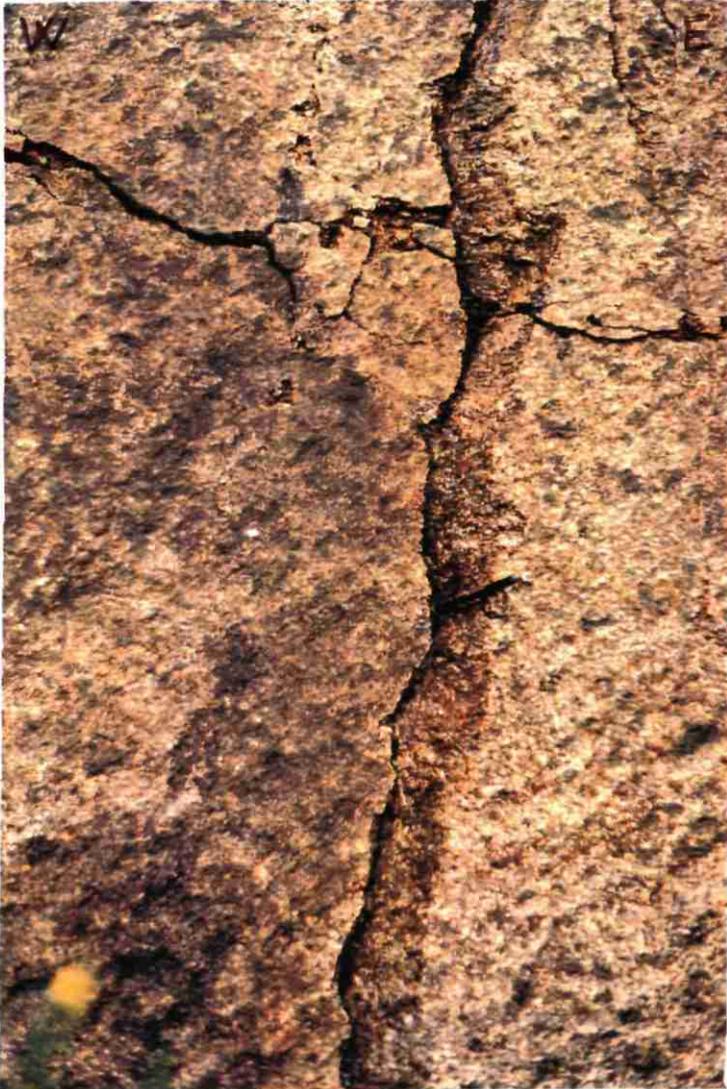


Photo 13 : Détail du décalage dextre de la N90 par la N140, 80W.
Le stylo est dans l'axe des stries - Arrêt 16

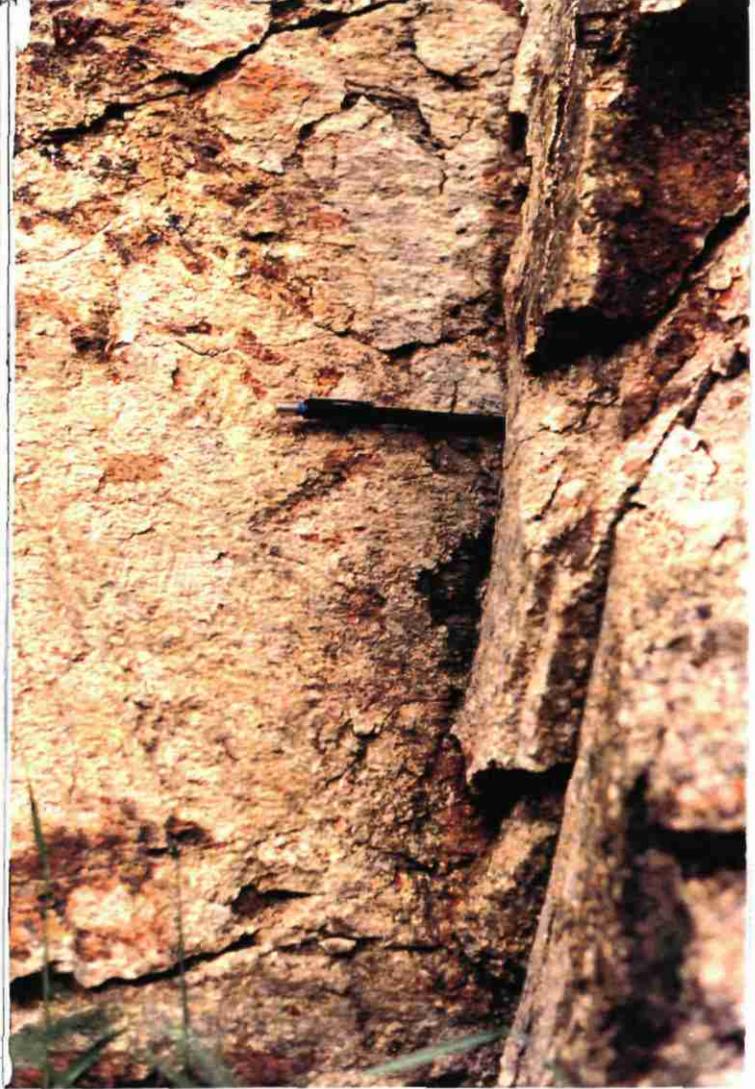


Photo 14 : Détail du décalage sénestre de la N90 par la N05, 85W.
Le stylo est dans l'axe des stries - Arrêt 16

1^{er} itinéraire : D7 (Sainte-Eulalie -> Les 4 routes, via Le Viala) :

18 D7 après le carrefour de Ferluguet :

- zone humide sur axe de faille cartée NW-SE

19 D7 au pont du Mouly (ancien moulin), rive droite :

- fracture N80, 90 surface très altérée => pas de stries visibles sur linéament photo

20 D7 après le pont du Mouly :

- fracture N150, 90 (photo 15) plan très altérée sur linéament photo

SE

NW

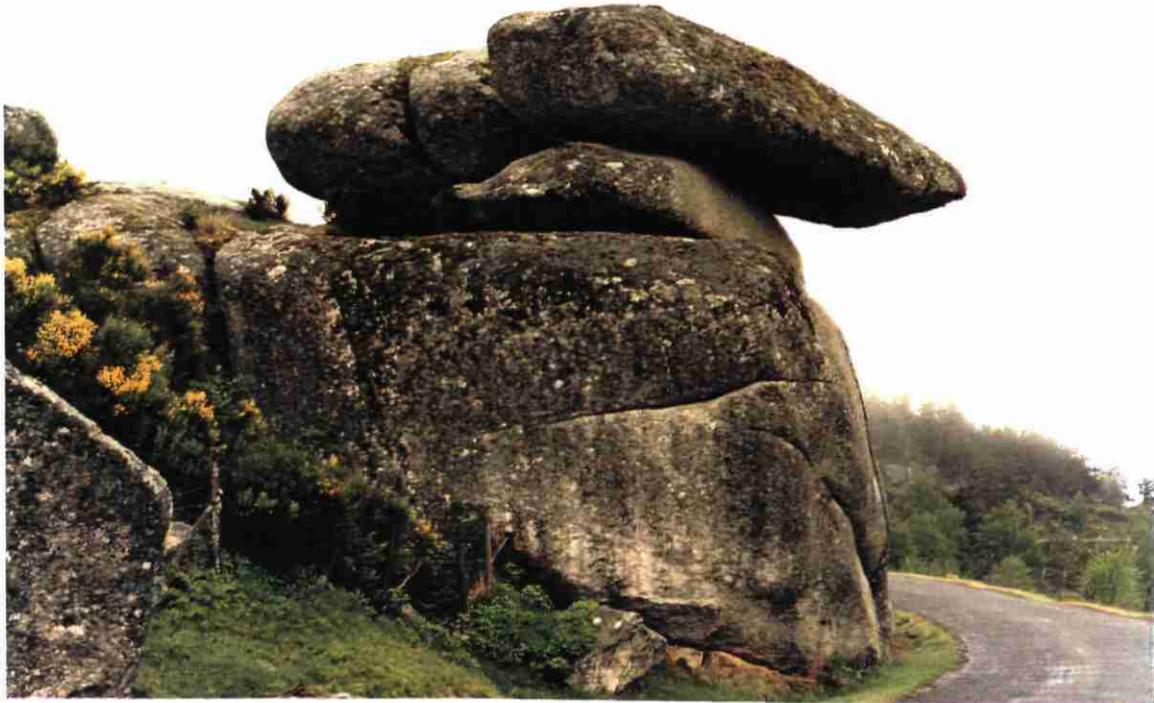


Photo 15 : Plan très érodé d'une fracture N150, 90 en continuité d'un linéament photo - Arrêt 20

12^{ème} itinéraire : D7 (Les 4 routes -> Les Estrets) :

②① D7 à Fontans :

- faille NW-SE cartée en pointillé vue en photo-interpétation retrouvée au même endroit

13^{ème} itinéraire : N106 (Les Estrets -> Serverette) :

②② N106 (photo 16) :

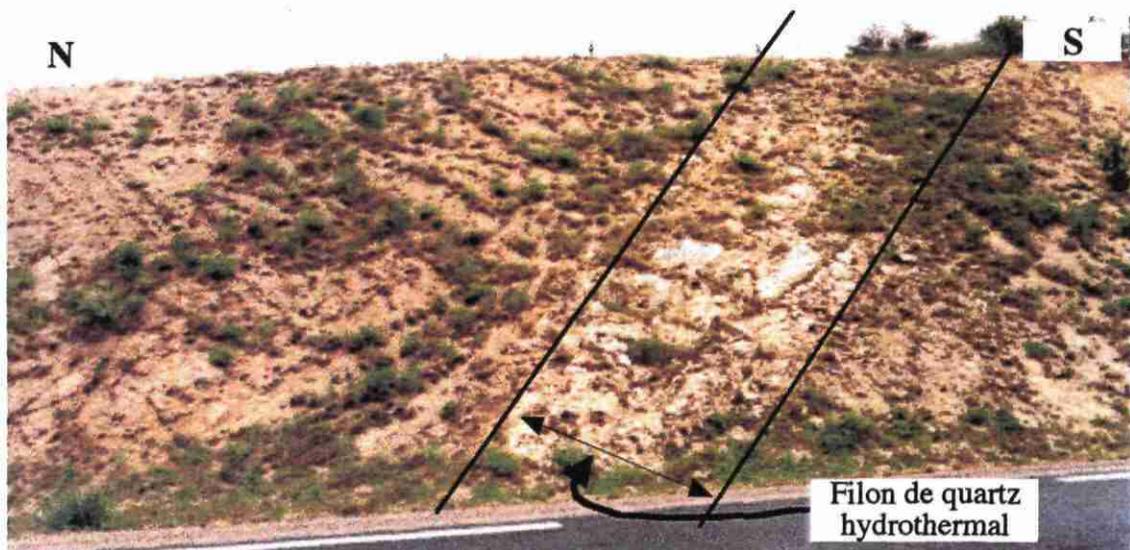


Photo 16 : filon de quartz hydrothermal visible sur la carte géologique - Arrêt 22

23 N106 :

- source (abreuvoir) sur un linéament photo NW-SE

24 N106 entrée de Serverette :

- les directions NW-SE et NE-SW sont reconnues

25 N106 dans Serverette (rive gauche, après un pont, route de Javols) :

- linéament photo retrouvé 50 m à l'ouest

plusieurs plans N130 à 145 (photo 17) stries 20N en grande partie effacées.
une fracture N00 semble buter sur les N135.

- à la sortie de Serverette, des fractures N00 sont vues butantes sur des N120



Photo 17 : Plans N130 à 145, le marqueur jaune (milieu bas) est dans l'axe des stries - Arrêt 25

14^{ème} itinéraire : D5 (Serverette -> Saint Denis en Margeride) :

26 D5 :

- fracturation N145 vue en photo-interprétation est bien en place source côté sud de la route

27 D5 :

- escarpement à relier avec un linéament photo de même orientation

28 D5 carrefour avec la D58 (début de D58) :

- faille N60, 90 (photo 18) stries discrètes deux populations : 30 à 45W et 50E sens ?
- cortège de failles N150 à N0 stries 30W légèrement ouvertes traversent la N60
- décalages sénestres par les N00 dextre par les N150
- faille N60 vue en linéament photo

SE



NW

Photo 18 : Plan d'une faille N60 (subparallèle à la route),
décalée par des failles N150 (plans en "éperons") et N00 (petit décalage de droite) - Arrêt 28

15^{ème} itinéraire : (Saint Denis en Margeride -> La Villedieu) : pas d'affleurements

16^{ème} itinéraire : D59 (La Villedieu -> Estables) : pas d'affleurements

17^{ème} itinéraire : D3 (Estables -> Saint-Amans) : pas d'affleurements

18^{ème} itinéraire : D50 (Saint-Amans -> Aumont-Aubrac) :

29 D50 :

- le photo-linéament est retrouvé (photo 19) faille N-S

30 D50 :

- le photo-linéament est retrouvé

E



W

Photo 19 : Linéament photo N-S identifié en temps que faille sur le terrain - Arrêt 29

19^{ème} itinéraire : N9 (Aumont-Aubrac -> Saint-Chély-d'Apcher) :

31

N9 au croisement avec la route de Crozes, 1 km avant Pont-Archat :

- faille N70, 90 (ondulante verticalement) colmatée (photos 20 et 21)
exactement sur un linéament photo

S



N

Photo 20 : Linéament photo N70 identifié en temps que faille sur le terrain - Arrêt 31

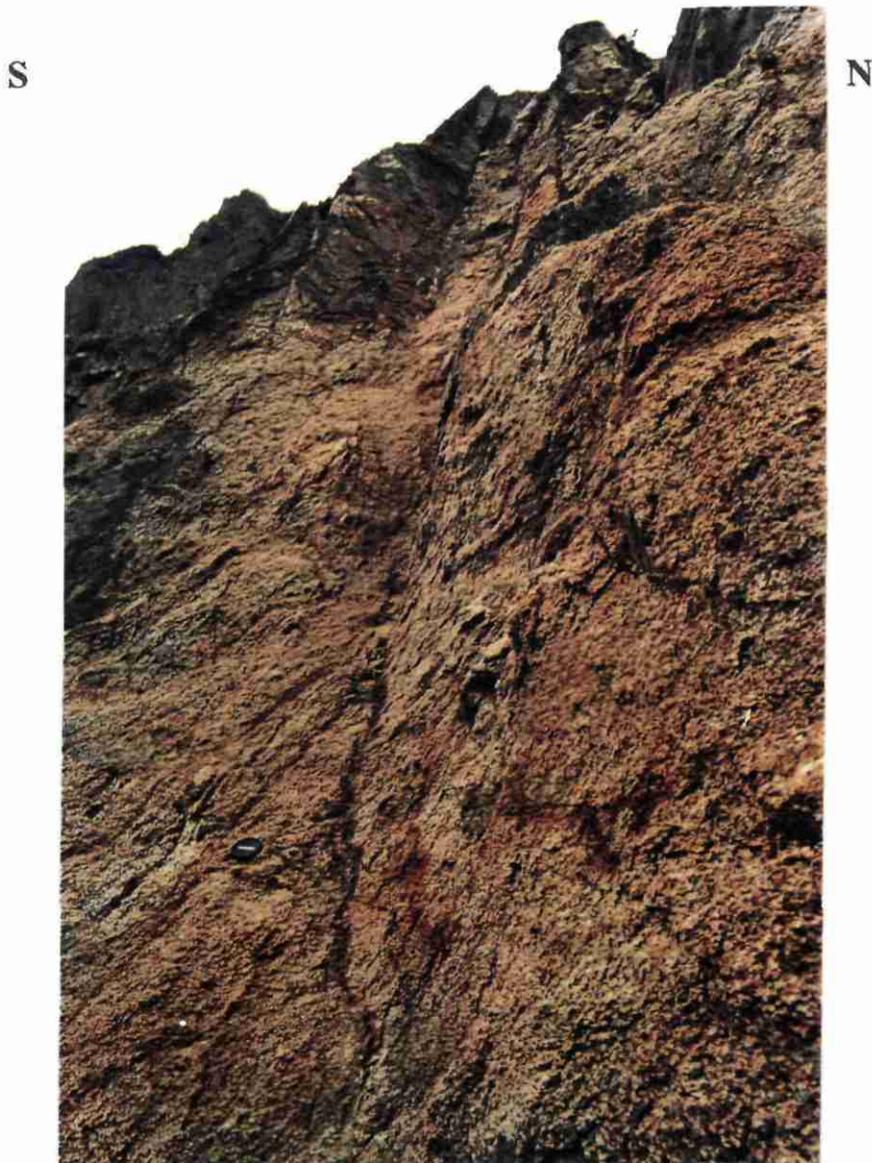


Photo 21 : Détail de la photo 20, faille N70 colmatée - Arrêt 31

20^{ème} itinéraire : D989 (Saint-Chély-d'Apcher -> Termes) :

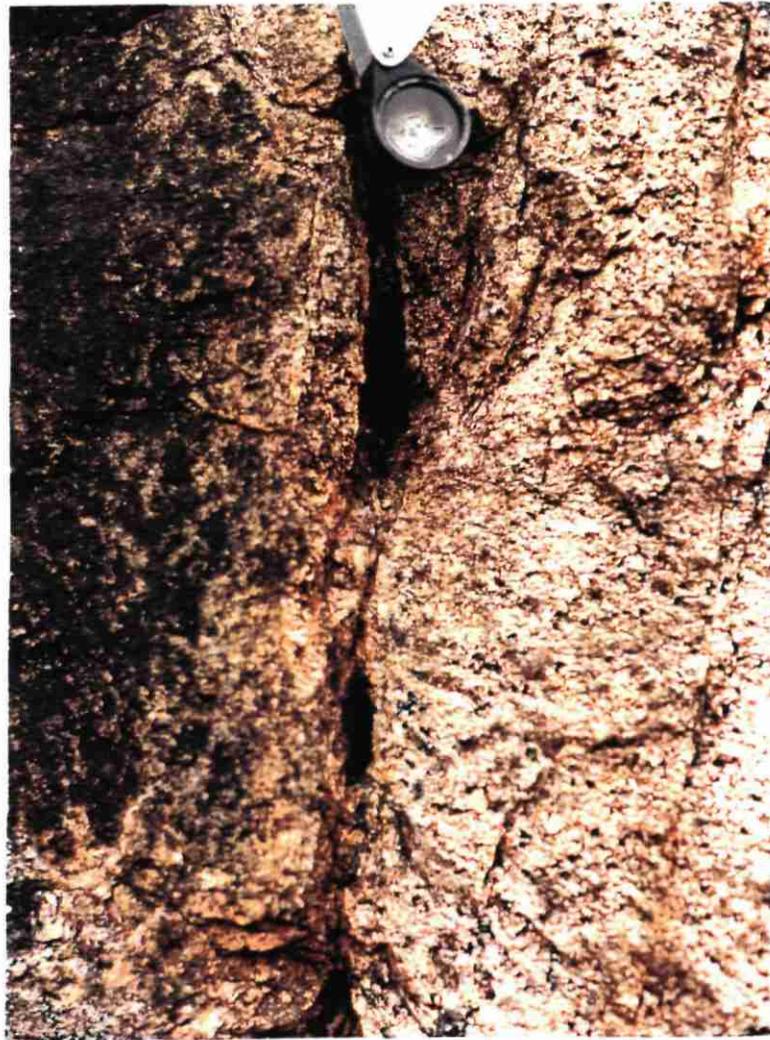
32 D989 sortie ouest de Saint-Chély-d'Apcher :

- nombreuses grandes fractures N130, 90
- fractures N60, 90 butent sur les N130
- fracture N30, 90 (photo 22) observée rarement ouverte minéralisée en partie chenalissante
- dièdre N130 / N60 (photo 23)
- 200m plus haut : large cortège de grandes diaclases N130 (photo 24)

33 D989 sortie de Termes :

- dans la continuité d'un linéament photo N110
- des failles "plates" décalent des veinules de quartz (photo 25)

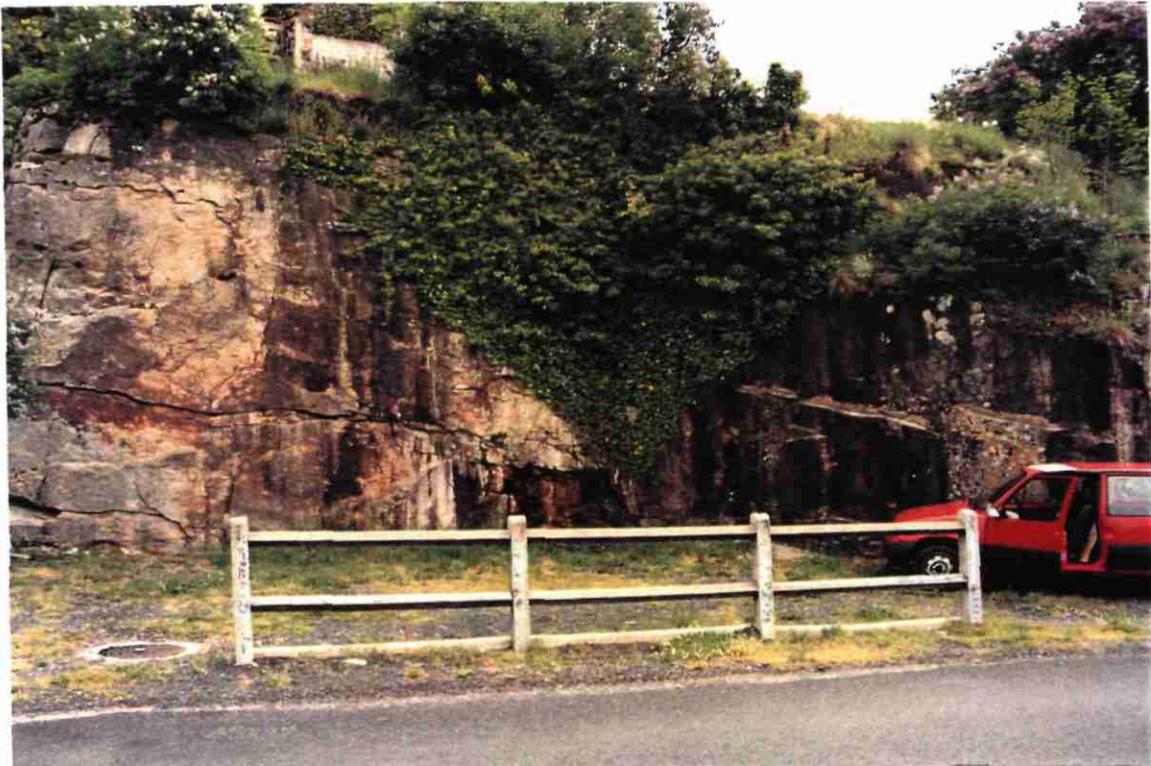
NW



SE

Photo 22 : Détail d'une fracture N30, ouverture chenalissante (seul cas rencontré) - Arrêt 32

W



E

Photo 23 : Dièdre entre une fracture N130 et N60 (la N60 butant sur la N130) - Arrêt 32

W



E

Photo 24 : Large cortège de grandes diaclases N130 - Arrêt 32

E



W

Photo 25 : Veinules de quartz décalées par des failles "plates" - Arrêt 33

21^{ème} itinéraire : D53 puis D10 (La Fage Montivernoux -> Fau-de-Peyre) :

34 D10 500m avant Fau-de-Peyre :

- source (abreuvoir) dans la continuité immédiate d'un linéament photo NW-SE

2 2^{ème} itinéraire : (Fau-de-Peyre -> Malbouzon) :

35 D987 500m avant Malbouzon :

- petit ruisseau très rectiligne exactement sur un linéament photo NW-SE

2 3^{ème} itinéraire : (Malbouzon -> Lac du Moulinet) : pas d'affleurements

- *synthèse des travaux de terrain, les constantes :*

Malgré le nombre restreint d'affleurements rencontrés (près de 400km parcourus) et la mauvaise qualité microtectonique (plan très érodés, altérites) d'une grande partie de ceux-ci, il ressort certaines constantes de l'étude de terrain :

- les **directions majeures des failles**, au nombre de trois, sont :

- **NW-SE**, subdivisible en deux familles, l'une voisine de N130, l'autre de N150;
- **subméridiennes** (entre N170 et N10);
- **NE-SW**, subdivisible en deux familles, l'une voisine de N30, l'autre de N50;

- les fractures *NW-SE* et les *subméridiennes* portent des *stries subhorizontales* (décrochements). Leurs pendages, assez redressés, sont fréquemment vers l'ouest (pouvant aller de 90 à 60W mais souvent voisins de 80W). Elles montrent localement des ouvertures (pouvant atteindre quelques centimètres par endroits).

- les fractures *NE-SW* (parfois colmatées) sont *décalées par les autres directions* :

- en décrochement sénestre par les subméridiennes;
- en décrochement dextre par les NW-SE;

- localement les N-S butent sur les NW-SE;

- les *linéaments photo* semblent *correctement interprétés* (retrouvés assez souvent et bien situés);

- des failles cartées en pointillé sur les cartes géologiques ont été retrouvées (certitude acquise);

- les *failles* sont *beaucoup plus nombreuses* que ce que ne l'indiquent les cartes géologiques;

- la direction *N-S*, très rarement marquée sur ces mêmes cartes, est en fait très *bien exprimée*;

- *forte différence d'échelle d'observation* entre la *photo-interprétation* (la plus précise des méthodes de travail en bureau) et le *terrain* :

- la **fracturation** est **beaucoup plus intense sur le terrain**;
- chaque **faille** n'est pas formée d'un plan simple et continu mais est en fait **constituée d'un cortège de failles** (zone faillée de largeur pluri-métrique à pluri-décamétrique);

- les linéaments de photo-interprétation et les failles retrouvées sur le terrain, de direction **NW-SE** (plus rarement les N-S) sont **souvent associées à des sources** ou des zones humides situées en **continuité** immédiate de leur localisation.

III - Le réseau de fractures du bassin versant lozérien de la Truyère (synthèse) :

La synthèse des données recueillies grâce aux M.N.T., à la photo-interprétation et aux travaux de terrain peut s'exprimer de la manière suivante :

Il existe trois grandes directions de fractures :

- NW-SE (subdivisible en $N125 \pm 5$ et $N150 \pm 10$);
- NE-SW (subdivisible en $N30 \pm 10$ et $N55 \pm 5$);
- N-S ($N00 \pm 10$).

Il existe aussi la direction E-W qui bien que faiblement représentée est ubiquiste dans le bassin versant lozérien de la Truyère.

Les fractures NW-SE et les N-S sont des décrochements (stries subhorizontales). Elles décalent les NE-SW, en décrochement sénestre par les N-S et en décrochements dextres par les NW-SE (jeu confirmé par la géométrie en "S" et les branchements unilatéraux de petites failles obliques aux extrémités de certaines grandes failles). La médiane de ces deux familles de décrochements donne une direction voisine de $N160$, direction très semblable à celle de la dernière phase tectonique reconnue dans la région (compression plio-quadernaire).

Le travail réalisé en photo-interprétation est validé par les observations de terrain. Cependant, le saut d'échelle important entre ces deux types de travaux se traduit par une organisation plus complexe de la fracturation que ne le laissait présumer la photo-interprétation : la fracturation est plus intense et chaque linéament initialement identifiable à une faille apparaît en fait constitué d'un cortège de failles pouvant atteindre une puissance de plusieurs mètres (de 1 à 2m pour l'arrêt 28 jusqu'à plusieurs dizaines de mètres dans le cas de l'arrêt 16).

Les failles sont beaucoup plus nombreuses que ne l'indiquent les cartes géologiques, notamment en ce qui concerne les failles de direction N-S. Un travail de synthèse de ces diverses données peut être réalisé³.

On constate la localisation de sources (et zones humides rectilignes) très souvent en continuité de failles (et de linéaments photo) de direction NW-SE (plus rarement sur des N-S).

Les limites inhérentes à chaque méthode d'identification du réseau de fractures du bassin versant lozérien de la Truyère s'estompent en grande partie lors de la confrontation des divers résultats. Pour exemple, le jeu décrochant dextre supposé de certaines grandes failles, suite à la remarque d'une géométrie particulière lors de l'analyse des photographies aériennes, est confirmé par des observations fréquentes de stries subhorizontales et de décalages sur le terrain de fractures perpendiculaires.

Cependant, le temps consacré aux analyse microtectoniques sur le terrain a été trop court. Un retour sur le terrain est souhaitable. En effet, si les rapports entre les deux principales familles de fractures sont convenablement ébauchés, il convient de mieux les détailler mais aussi de connaître les relations entre fractures d'une même population de fractures (les NW-SE particulièrement, qui apparaissent pouvoir être subdivisées en deux familles).

³ calques de synthèse au 1 / 50 000 (grandes lignes) issus des différents travaux de détermination de la fracturation : photo-interprétation, M.N.T., cartes géologiques, observations de terrain.

IV - Effet probable des contraintes sur le réseau de fractures du b.v. lozérien de la Truyère :

Rappelons que la **contrainte maximale horizontale** (σ_H) est estimée par encadrement (cf. § I. 3) aux environs de **N140 à N150** (mesures respectivement effectuées à Privas-Alès et Chassoles).

En dehors de perturbations locales des contraintes, les fractures de direction semblable doivent par conséquent subir une simple dilatation. Les fractures d'orientation perpendiculaires doivent quant à elles subir un serrage et les fractures obliques un cisaillement (en fermeture ou ouverture suivant leurs orientations). En fonction des différentes familles directionnelles de fractures que nous connaissons, nous pouvons dire que de manière générale (en dehors de problèmes locaux), en fonction de l'angle qu'elles forment avec σ_H (β) les fractures de direction voisines de :

- N150 sont simplement dilatantes - $\beta \approx 0$;
- N125 sont dilatantes et sous l'effet possible d'un cisaillement - $\beta \approx 20$;
- N00 sont dilatantes et sous l'effet possible d'un léger cisaillement - $\beta \approx 35$;
- N30 sont soumises à un serrage très légèrement cisailant - $\beta \approx 65$;
- N55 sont soumises à un serrage important - $\beta \approx 90$

Les fractures ayant le **meilleur potentiel hydrodynamique** sont par conséquent les **NW-SE** et à un niveau moindre les subméridiennes, le potentiel le plus faible étant attribué aux fractures **NE-SW**.

Si ce potentiel peut être considéré comme quasi-nul pour les diaclases **NE-SW**, car les plans peuvent se réemboîter (s'ils ne sont pas légèrement minéralisés), le potentiel hydrodynamique des failles **NE-SW** n'est pas forcément nul. La notion de faille implique un mouvement relatif des épontes qui ne peuvent alors plus se refermer parfaitement, en dehors bien sûr d'un remplissage qui puisse fluer. De même pour les fractures correctement orientées, un colmatage est toujours possible.

Ainsi une meilleure caractérisation des différentes familles de fractures, par des observations approfondies de terrain, est nécessaire. Cette incertitude sera en partie comblée lors de la phase 2 du projet, où les fractures ouvertes seront reconnues (atmogéochimie; l'anisotropie électrique ne pouvant facilement permettre la distinction entre eau et argile, mais étant toutefois à réaliser absolument en temps que méthode croisée avec l'atmogéochimie).

Un jeu légèrement cisailant améliore la chenalisation des plans et par conséquent les transferts de fluides. Il ne serait pas étonnant que les directions **N125** et **N-S** produisent autant, sinon plus, que les **N150**, en dehors bien entendu de l'acquisition d'une morphologie particulière des fractures lors de leur évolution tectonique (remplissages, dissolutions, etc.).

La tendance de σ_H est de se concentrer dans les parties convexes des failles et de diminuer du côté concave (figure 27). Ainsi, les légères ondulations de certaines failles **NW-SE** amènent à une perturbation de σ_H . σ_H se fait oblique (par rapport à sa direction aux limites) et plus forte sur les parties convexes, mais aussi oblique et plus faible sur les parties concaves, de l'autre côté de la faille. Ces failles peuvent donc se retrouver partiellement fermées et des failles légèrement obliques ouvertes suite à ces ondulations.

Les terminaisons en grandes courbes de plusieurs grandes failles sont elles aussi susceptibles de perturber la trajectoire de σ_H dans les mêmes conditions.

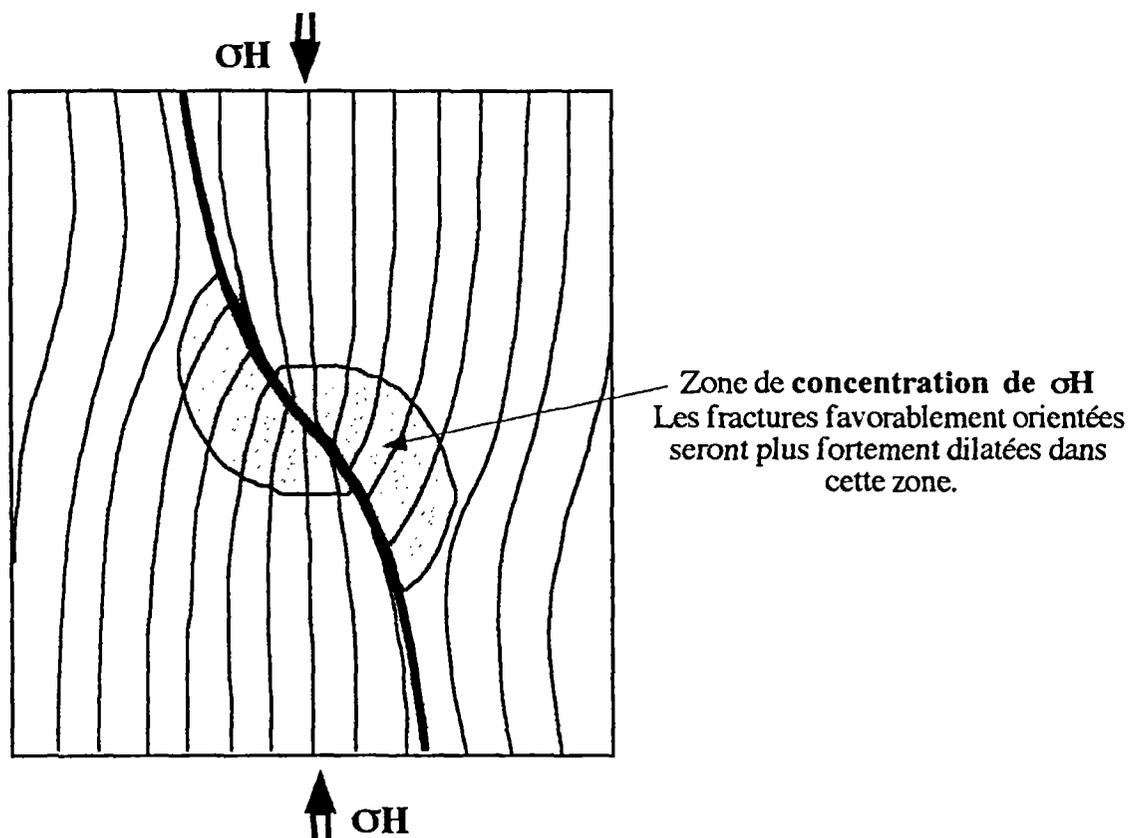


Fig. 27 : Exemple de concentration des contraintes sur un "genoux" d'une faille. Cette géométrie dépend essentiellement de la friction sur les épontes de la faille (plus l'appui sera grand, plus la perturbation sera grande).

V - Conclusion, recommandations et proposition de quelques sites favorables à la poursuite de l'étude :

Il est évident qu'en fonction de l'orientation des contraintes tectoniques actuelles, **la recherche d'eau doit porter sur la fracturation voisine de N150**, d'autant que la multiplicité des plans dans une zone de passage de faille, leur grande continuité apparente et leur légers jeux cisailants, augmentent considérablement la capacité d'écoulement de fluides sur ces axes. Mais il serait préférable de mieux caractériser cette direction de fracturation (rapports entre les deux sous-familles, remplissages, morphologie des plans). Un retour sur le terrain semble donc nécessaire (sur les arrêt 16 et 28 par exemple, et d'autres nouveaux affleurements proches des futurs sites d'exploitation).

Avant d'effectuer la caractérisation d'un site par les méthodes atmogéochimiques et géophysiques prévue dans la phase 2 du projet (prospection électrique, radon), il serait préférable de caler les modèles de réseaux dilatants sur un site où la fracturation peut-être parfaitement reconnue à l'affleurement (au-dessus de l'arrêt 16). La fréquente impression de "déjà vu" remarquée lors de la photo-interprétation laisse en effet supposer que ce qui est observé en un endroit peut être extrapolable à une grande partie du secteur d'étude. Obtenir la signature des failles NE-SW serait aussi appréciable (ex. : faille colmatée en arrêt 20).

Compte tenu de l'aspect assez vallonné de certaines zones (et du déconfinement possible de certaines fractures en sommet de reliefs), l'utilisation de la méthode du carré tournant (Louis, 1992) pour la prospection géophysique semble plus adaptée que le traditionnel dispositif Schlumberger. En effet, celui-ci est plus facile à mettre en place et permet des profondeurs d'investigation plus grandes.

L'implantation de forages devra tenir compte de la puissance du cortège de failles, plus ou moins petites, qui constitue la zone de passage de faille détectée.

Bibliographie (références citées dans le texte et références utiles) :

- AUZIAS V. (1995) - Contribution à la caractérisation tectonique des réservoirs fracturés. *Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université Montpellier II, 325p.*
- BAYER R., COUTURIÉ J.P. et VASSEUR G. (1982) - Résultats géophysiques récents sur le granite de la Margeride. *Ann. géophys., t. 38, n° 3, p. 431-447.*
- BERARD P. et BAUDON-JUVET A. (1991) - Réalisation de deux forages d'AEP dans le secteur de La Garde (Albaret-Sainte-Marie - 48). *Rapport B.R.G.M.*
- BONIJOLY D. (1981) - Etude structurale et minéralisations d'une plate-forme carbonatée : le Quercy. *Thèse 3^{ème} cycle, Université d'Orléans. Document B.R.G.M. n° 26.*
- BRUEL T. (1997) - Caractérisation des circulations de fluides dans un réseau fracturé et rôle des contraintes *in situ*. Une étude de cas dans le bassin permien de Lodève. *Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université Montpellier II.*
- Cartes Géologiques au 1 / 50 000 (et livrets explicatifs associés) : Chaudes-Aigues, Nasbinals, Saint-Chély-d'Apcher et Saugues. B.R.G.M.
- Cartes Topographiques au 1 / 50 000 : Chaudes-Aigues, Nasbinals, Saint-Chély-d'Apcher et Saugues. I.G.N.
- Cartes Topographiques au 1 / 25 000 : Faverolles (2536 E), Le Malzieu-Ville (2636 O), Fournels (2537 E), Saint-Chély-d'Apcher (2637 O) et Saint Amans (2637 E). I.G.N.
- CORNET F. H. and BURLET D. (1992) - *In situ* stress heterogeneity identification with the HTPF tool. *Rock Mechanics, Tillerson & Wawersik (eds), 1992 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 54 10 045.1*
- CORNET F. H. (1992) - Stress field determinations in France by hydraulic tests in boreholes. *Journal of geophysical research, vol. 97, n° B8, pages 11, 829-11, 849, july 30, 1992.*
- DUTARTRE P. (1981) - Etude de la fracturation du granite de la Margeride (Région de Saint-Alban-sur-Limagnole - Lozère). *Thèse 3^{ème} cycle, Université Paris VII.*
- DUTARTRE P., GOACHET E. et POINTET T (1990) - Implantation de forages d'eau en milieux fissurés : une approche intégrée de la télédétection et de la géologie structurale en Nouvelle-Calédonie. *Hydrogéologie n°2, 1990, pp. 113-117, 3 fig.*
- GRILLOT J-C., BOUSQUET J-C. , PHILIP H. et DAZY J. (1983) - Hydrothermalisme carbon gazeux, radioactivité et sismotectonique : exemple du Languedoc-Roussillon (France). *Hydrogéologie - Géologie de l'ingénieur. 4, 1983, pp. 313-320, 1 tabl., 1 carte h.t.*

LOISEAU P. (1987) - Etude structurale et géostatistique des gneiss de la région du Cézallier (Massif Central français). Modélisation tridimensionnelle des réseaux de fractures. Application à l'écoulement des fluides. *Thèse 3^{ème} cycle, Université Orléans. Document B.R.G.M. n° 162.*

LOUIS P. (1992) - Utilisation des méthodes électriques pour la recherche d'eau dans les aquifères discontinus. *Mém. Soc. géol. France, 1992, n.s., n°161, p. 17-23*

MASSONNAT G. et coll. (1994) - Les réservoirs fissurés : modélisation de structures et simulation d'écoulements. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine. 18. 1. 135-314, 160 fig., 9 tabl., 10 pl. Boussens, 24 juin, 1994. ISSN 0396-2687 - BCREDP.*

Mémoire S.G.F. (Ouvrage collectif, 1993) - Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique. Atlas de 23 cartes au 1 / 4 000 000 et une carte au 1 / 1 000 000. *Mémoire N.S., 1993, n° 164, vol. 1 : 76 p., Vol. 2 : 24 pl., 1 carte.*

PAQUIN C. (1981) - *In situ* stress measurements in southern France. *Late abstracts E.U.G. 1981, p. 145.*

PETIT J-P., PROUST F. et TAPPONNIER P. (1983) - Critères de mouvement sur les miroirs de failles en roches non calcaires. *Bull. Soc. géol. de France, 1983, (7), t. XXV, n°4, p. 589-608.*

PISTRE S. (1992) - Structure fissurale et modélisation hydrodynamique : cas d'un réservoir aquifère en milieu granitique. *Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, U.S.T.L. Montpellier II.*

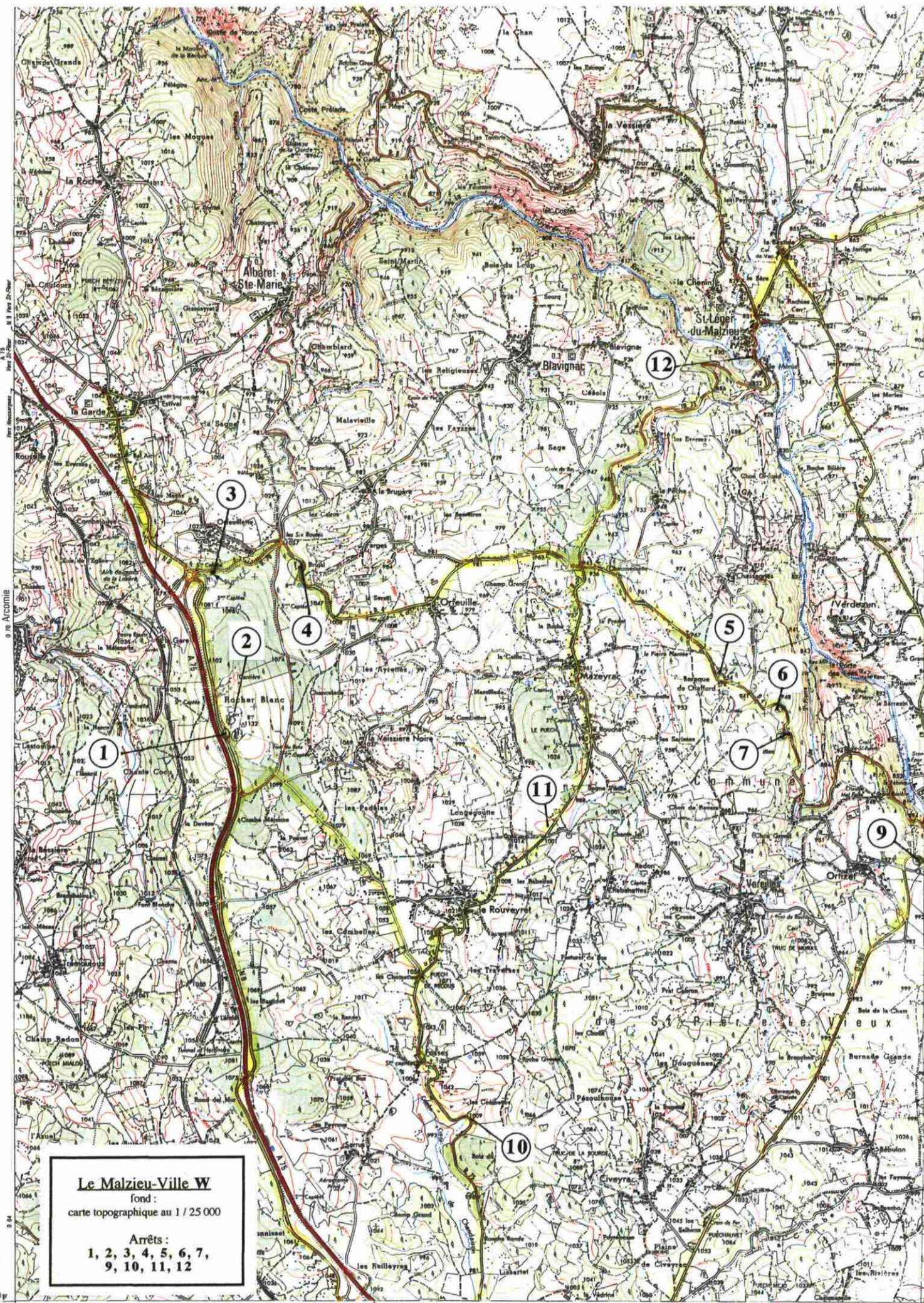
RIVES T. (1992) - Mécanismes de formation des diaclases dans des roches sédimentaires. *Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, U.S.T.L. Montpellier II.*

Annexe 1 : Cartes de localisation des arrêts et itinéraires suivis
(1/25.000)

**Agencement des
diverses cartes de
localisation des arrêts.**



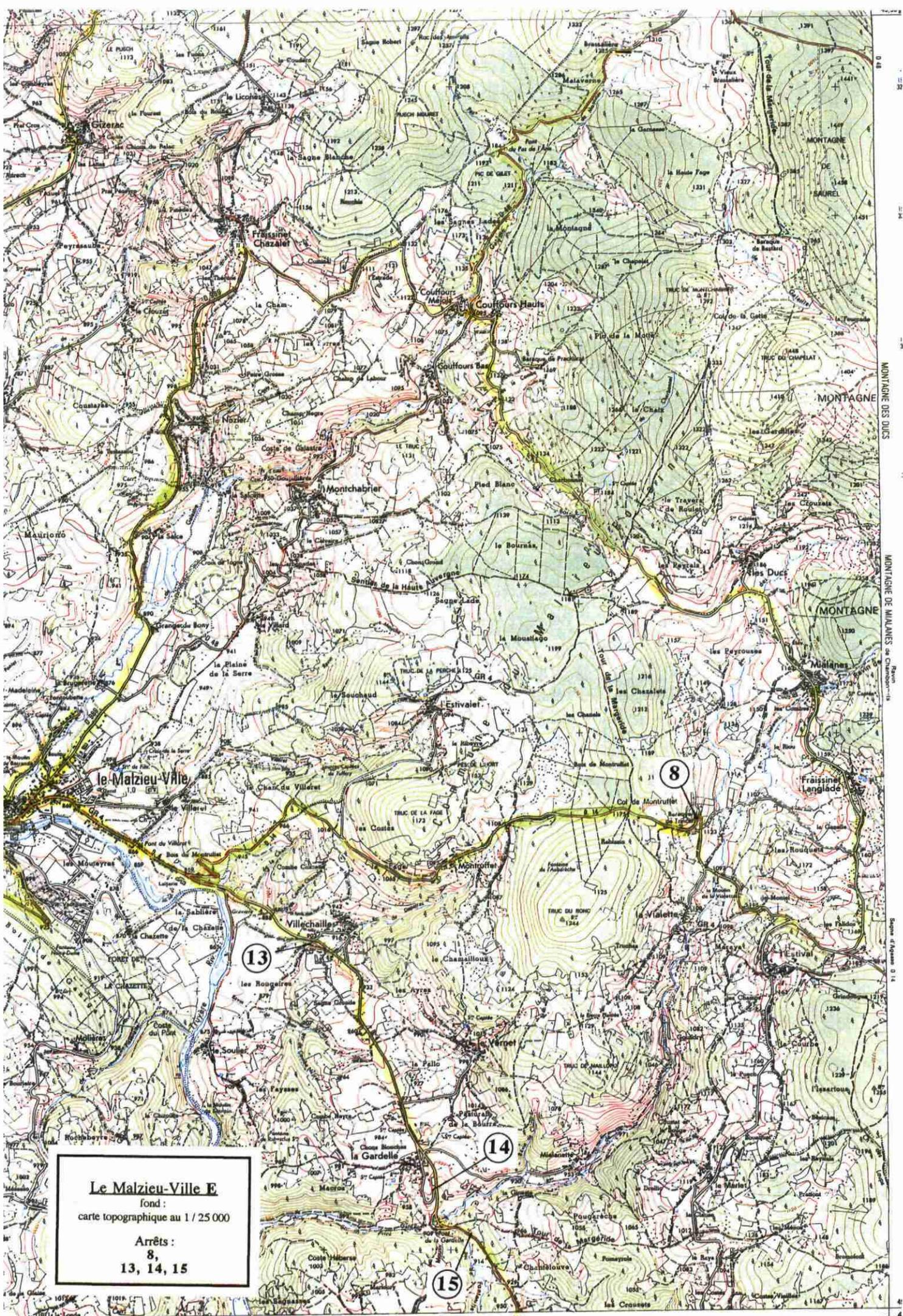
	<u>St-Amans NE</u>	<u>St-Amans SE</u>
	<u>St-Amans NW</u> Arrêts : 16, 17, 18, 19, 20, 28	<u>St-Amans SW</u>
<u>Le Malzieu-Ville E</u> Arrêts : 8, 13, 14, 15	<u>St-Chély-d'Apcher NE</u> Arrêts : 21, 22, 23	<u>St-Chély-d'Apcher SE</u> Arrêts : 24, 25, 26, 27, 29, 30
<u>Le Malzieu-Ville W</u> Arrêts : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12	<u>St-Chély-d'Apcher NW</u> Arrêts : 31, 32	<u>St-Chély-d'Apcher SW</u>
<u>Faverolles</u>	<u>Fournels NE</u> Arrêts : 33, 34	<u>Fournels SE</u>
	<u>Fournels NW</u>	<u>Fournels SW</u> Arrêt : 35



Le Malzieu-Ville W
fond :
carte topographique au 1 / 25 000

Arrêts :
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,
9, 10, 11, 12

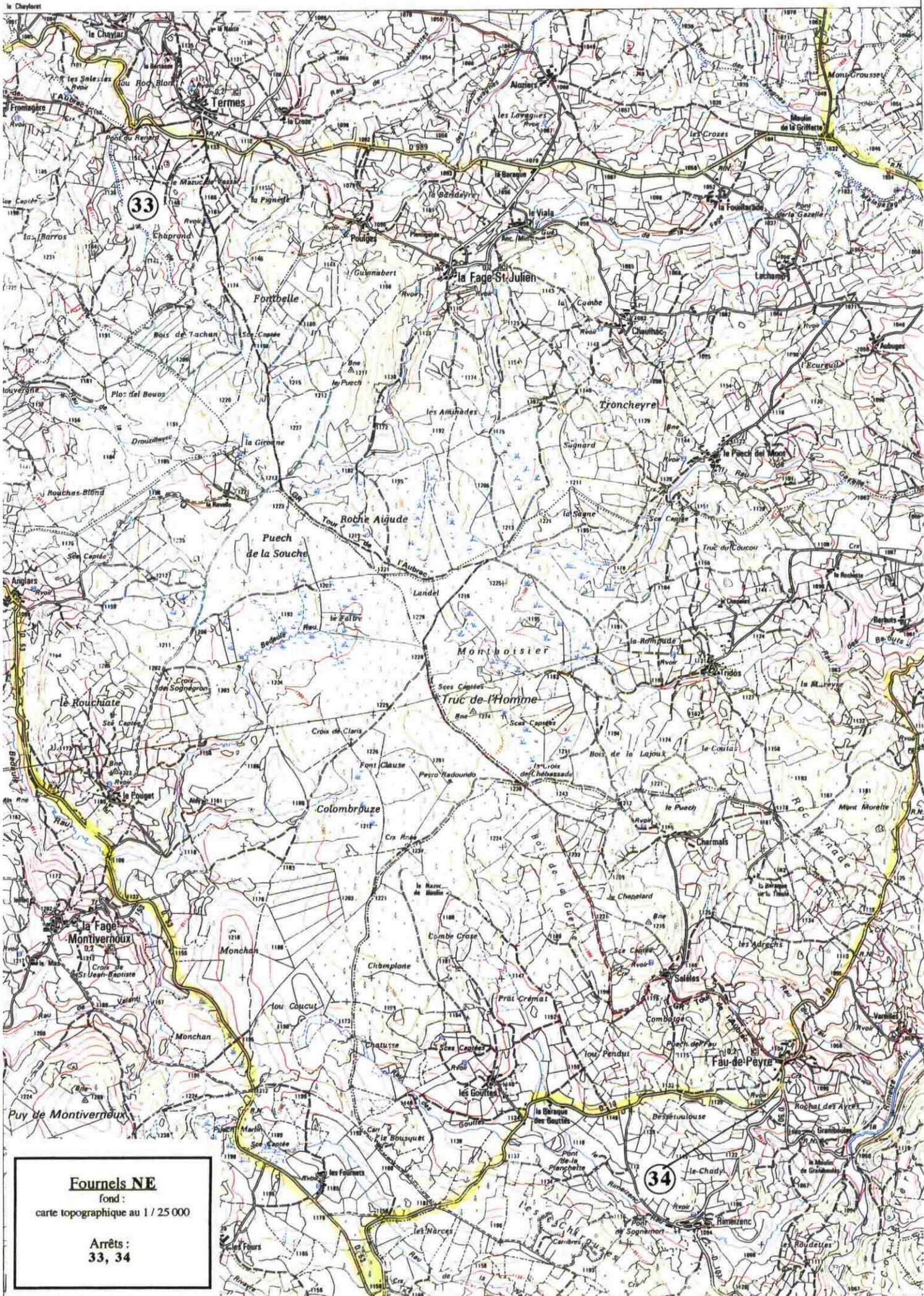
0 0.4 0.8 1.2
Vers le Massif
Vers St-Chély-d'Archer
Vers St-Chély-d'Archer
0.800
Vers St-Chély-d'Archer



Le Malzieu-Ville E

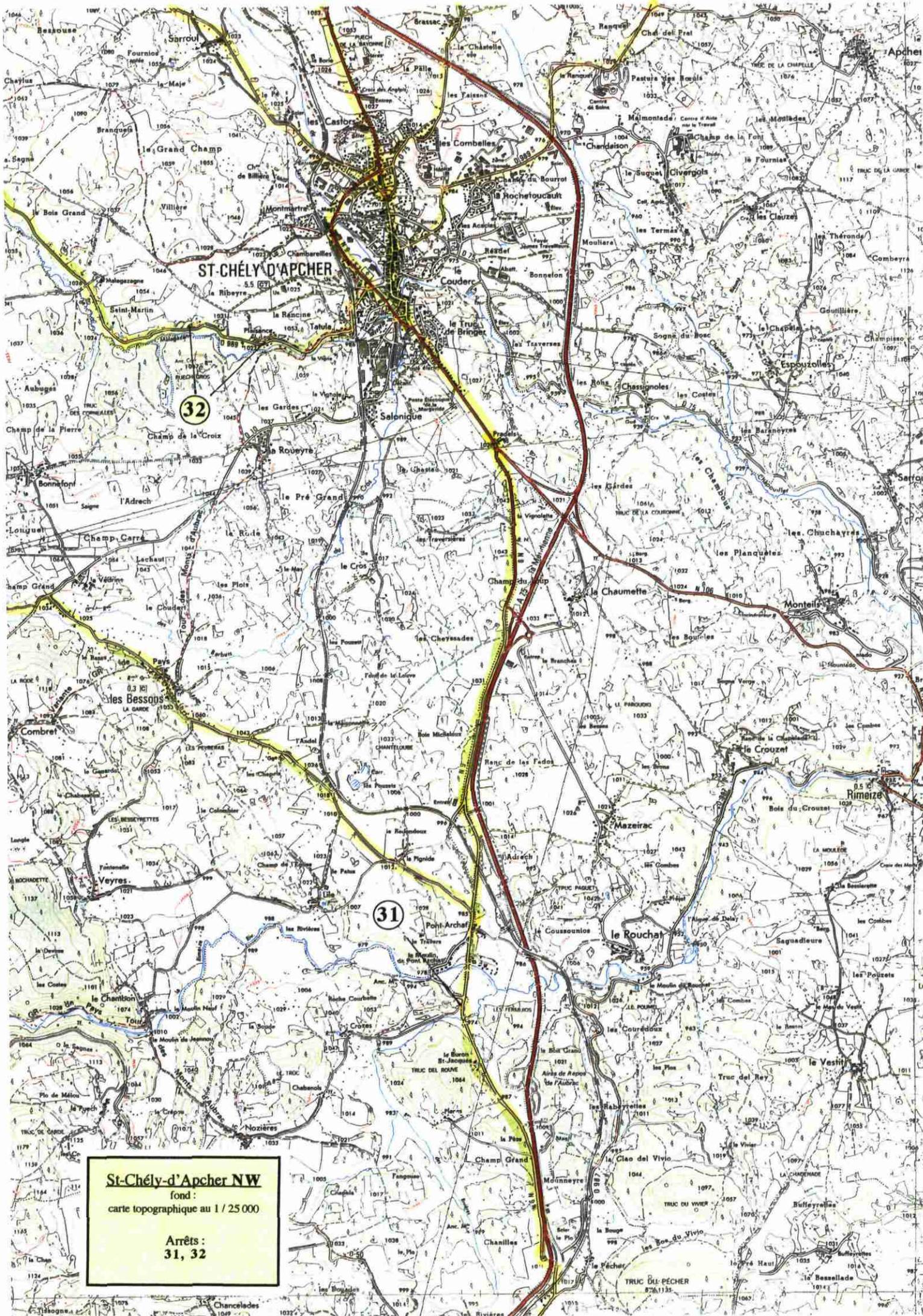
fond :
carte topographique au 1 / 25 000

Arrêts :
8,
13, 14, 15



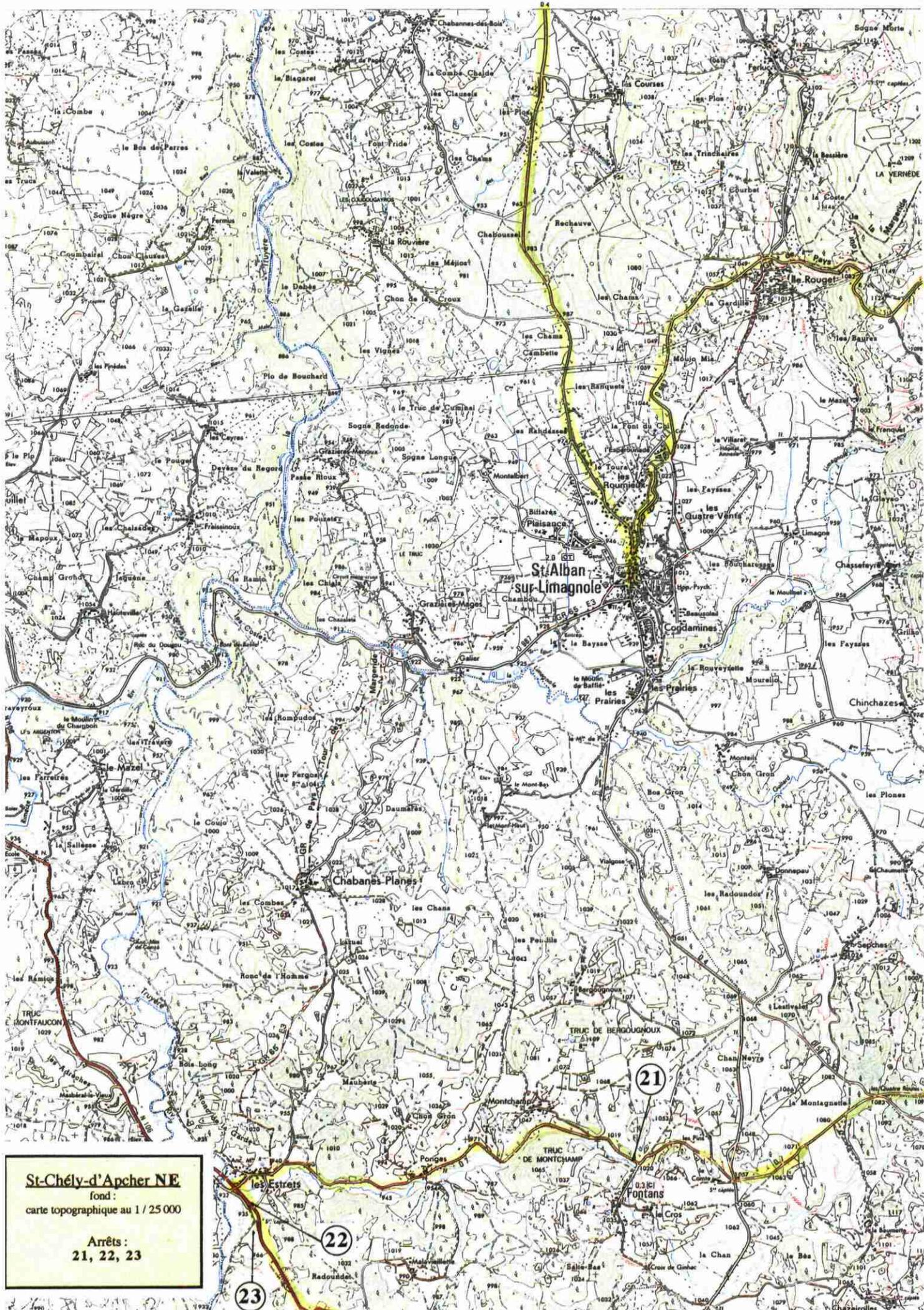
Fournels NE
 fond :
 carte topographique au 1 / 25 000

Arrêts :
 33, 34



St-Chély-d'Apcher NW
fond :
carte topographique au 1 / 25 000

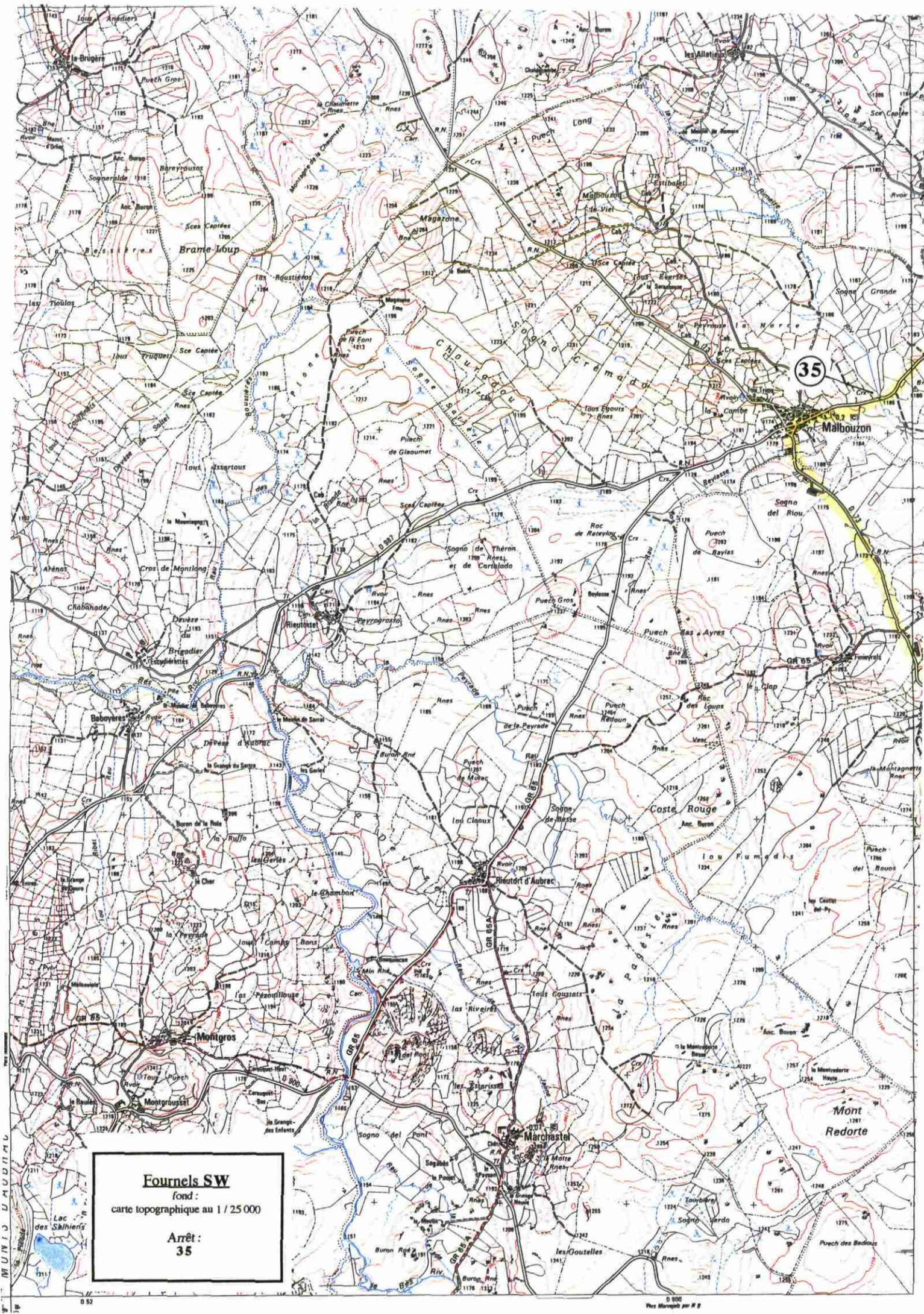
Arrêts :
31, 32



St-Chély-d'Apcher NE
 fond :
 carte topographique au 1/25 000

Arrêts :
 21, 22, 23

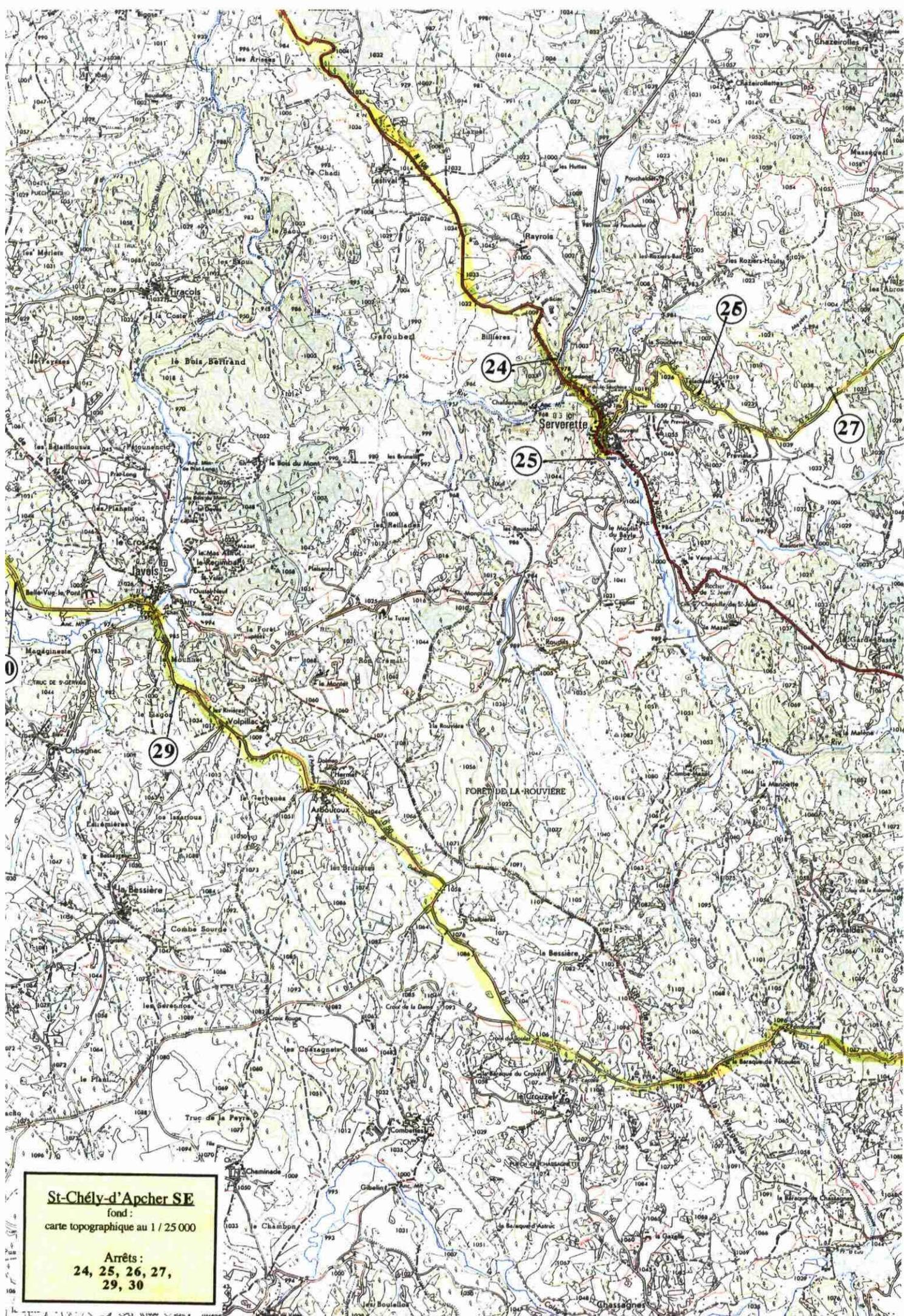




Fournels SW
fond :
carte topographique au 1 / 25 000

Arrêt :
35

MUNICIPAL



St-Chély-d'Apcher SE
fond :
carte topographique au 1 / 25 000

Arrêts :
24, 25, 26, 27,
29, 30

Annexe VI

LAPSCHER S. (1998) - Ressources en Eau Margeride Ouest. Evaluation de la ressource.- Rapport de stage 2^{ème} année ISIM, Département des Sciences et Technologies de l'Eau, 2 Vol..



Ressources en eau Margeride Ouest

Evaluation de la ressource

*2^{ème} année ISIM, département des sciences et technologies de l'eau,
Rapport de stage effectué au BRGM*

Septembre 1998



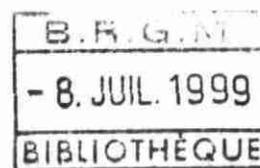


Ressources en eau Margeride Ouest

Evaluation de la ressource

S. Lapscher

Tuteur de stage (UMII) : J. C. Grillot
Tuteur de stage (BRGM) : P. Lachassagne



*2^{ème} année ISIM, département des sciences et technologies de l'eau,
Rapport de stage effectué au BRGM*

Septembre 1998



RESUME

Le bassin versant de la Truyère, formé essentiellement de socle cristallin, présente un habitat très dispersé. De nombreuses petites sources, au débit unitaire relativement faible, sont captées pour l'alimentation en eau potable. Les décideurs locaux souhaitent mettre en valeur des ressources en eau supplémentaires, ayant un débit plus important, afin de couvrir les besoins, limiter le nombre de captage et faciliter leur entretien.

Dans ce contexte, la direction de la Recherche du BRGM effectue un travail de recherche appliquée intitulé :

"Ressources en Eau de la Margeride Ouest - Bassin de la Truyère"

en partenariat avec le Conseil Général de la Lozère et l'Agence de l'Eau "Adour Garonne".

Les principaux objectifs de ce travail sont :- la caractérisation des différentes formations aquifères (socle, altérites et alluvions),
- la mise au point d'une méthodologie de mise en valeur et d'évaluation des ressources en eaux souterraines en région de socle,
- l'implantation de forages expérimentaux,
- la réalisation d'essais par pompage.

Le stage qui a été effectué, dans le cadre de ce projet, a été intégré dans la phase d'évaluation de la ressource. L'acquisition des données est prévue au cours des deux périodes d'étiage 1998 et 1999. Elle comprend les points suivants :

- recherches bibliographiques afin de localiser les points d'eau, recueil de données existantes,
- collecte d'informations auprès des élus, des responsables locaux, des habitants,
- visite et jaugeage des sources en période d'étiage,
- jaugeages des eaux de surface (jaugeages chimiques et à l'aide d'une sonde : Nautilus C 2000),
- caractérisation physico-chimique de terrain (pH, température, conductivité).

Les différentes informations recueillies ont été regroupées dans une base de données au format Microsoft EXCEL.

Les ouvrages visités révèlent une température des eaux souterraines comprise entre 6 et 20.3°C, les valeurs les plus chaudes ayant été relevées au niveau de fontaines, réservoirs et abreuvoirs. Le gradient thermique est nettement plus fort (2.87 °C / 100 m) que les valeurs couramment admises ce qui peut être lié à la proximité du niveau piézométrique par rapport au sol. En été, un réchauffement de l'eau se produit au sein des nappes les plus superficielles.

La conductivité électrique est comprise entre 14.1 et 225 µS/cm, les valeurs les plus fortes ayant été mesurées sur des sites proches de pâturages. Elle semble augmenter au cours du cheminement de l'eau, les mesures au niveau de points bas sont en effet plus élevées que pour les points plus hauts.

Le pH, acide en région de socle, est compris entre 3.87 et 6.71.

Les résultats des jaugeages des cours d'eau seront comparés à des données obtenues par la DIREN et EDF, qui sont en cours d'acquisition. Un traitement ultérieur permettra de valider les mesures.

Plusieurs travaux annexes ont été réalisés dans le cadre de la préparation des campagnes de terrain :

- rédaction d'une notice d'utilisation de la sonde (Nautilus C 2000),
- rédaction d'une notice d'utilisation du logiciel de dépouillement des données (BIBER).

Les campagnes de terrain devant se poursuivre au cours de l'étiage 1999, toutes les informations ont été reportées avec soin pour permettre la vérification de données douteuses, la visite de captages non trouvés ou qui n'ont pu être ouverts. Toutes les démarches et protocoles expérimentaux ont été détaillés de façon à faciliter la campagne suivante et permettre une reproductibilité des conditions de travail.

SOMMAIRE

LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	6
LISTE DES ANNEXES	8
INTRODUCTION	9
1^{ÈRE} PARTIE.....	10
PRESENTATION DU PROJET, CONTEXTE DU STAGE	10
1. Contexte du stage.....	11
1.1. Le projet 'Ressources en Eau de la Margeride Ouest - Bassin de la Truyère'.....	11
1.2. Objectifs spécifiques du stage. Organisation.....	13
2. Identification du périmètre d'étude	15
3. Caractérisation du bassin versant.....	15
3.1 Géologie du bassin versant de la Truyère.....	15
3.2. Eléments d'hydrogéologie, schéma conceptuel.....	16
3.3. Epaisseur de la zone fissurée et des altérites.....	17
3.4. Hydrologie	17
2^E PARTIE	19
LES TRAVAUX DE TERRAIN, PROTOCOLES EXPERIMENTAUX.....	19
1. Présentation des travaux de terrain.....	20
1.1. Nature des sites visités	20
1.2. Organisation des visites	20
1.3. Repérage et ouverture des ouvrages.....	21
1.4. Organisation intérieure des ouvrages.....	22
2. Méthodes de jaugeage des sources	23
2.1. Jaugeage des sources captées	23
2.2. Jaugeages des sources non captées.....	24
3. Méthodes de jaugeage des cours d'eau	24
3.1. Jaugeage à l'aide d'un capteur de vitesse	24
3.2. Jaugeage chimique	27
4. Mesures physico-chimiques de terrain	30
4.1. pH.....	30
4.2. Conductivité.....	30
4.3. Température.....	30
3^E PARTIE	31
PRESENTATION DES DONNEES	31
1. Présentation des mesures au niveau des sources, fontaines, abreuvoirs	32
2. Présentation des résultats des jaugeages différentiels des cours d'eau.....	33

4^E PARTIE	35
COMMENTAIRE DES RESULTATS.....	35
1. Les différents types de sources et captages rencontrés	36
1.1. Les sources.....	36
1.2. Les captages.....	37
1.3. Prises en rivière.....	37
2. Physico-chimie et débit des émergences	38
2.1. Température.....	38
2.2. Conductivité électrique.....	38
2.3. pH.....	39
2.4. Débit.....	40
3. Physico-chimie et débit des eaux superficielles.....	41
3.1. Physico-chimie des eaux superficielles.....	41
3.2. Mesures de débit.....	41
CONCLUSION.....	45
BIBLIOGRAPHIE	46
FIGURES	
PHOTOS	
ANNEXES	

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Nota : les figures 1 à 8, extraites du rapport de synthèse n° R40293, n'ont pas été reproduites au sein du présent document.

- Fig. 1 - Situation du bassin versant de la Truyère
 - Fig. 2 - Bassin versant lozérien de la Truyère
 - Fig. 3 - Géologie : fracturation et lithologie des formations superficielles (hors altérites) et du substratum
 - Fig. 4 - Fracturation : linéaments identifiés sur photographies aériennes IGN
 - Fig. 5 - Schéma conceptuel en zone de socle. Aquifères discontinus
 - Fig. 6 - Epaisseur de la zone fissurée et des altérites
 - Fig. 7 - Analyse multicritère. Carte préliminaire des potentialités en eau souterraine du socle.
 - Fig. 8 - Régions retenues pour la recherche de sites de prospection socle et alluvions
 - Fig. 9 - Température de l'eau des sources en fonction de l'altitude
 - Fig. 10 - Température de l'eau des sources en fonction de l'altitude
Non comprises : mesures réalisées en aval de l'émergence
 - Fig. 11 - Conductivité électrique de l'eau des sources en fonction de l'altitude
 - Fig. 12 - pH de l'eau des sources en fonction de l'altitude
 - Fig. 13 - Débit des sources en fonction de l'altitude
 - Fig. 14 - Présentation des points de jaugeage
-
- Photo 1 - St Sauveur de Peyre, ouvrage n° 88
 - Photo 2 - Ste Colombe de Peyre, ouvrage n° 99
 - Photo 3 - St Sauveur de Peyre, ouvrage n° 89
 - Photo 4 - Fau de Peyre, ouvrage n° 115
 - Photo 5 - St Sauveur de Peyre, ouvrage n° 91
 - Photo 6 - Le Malzieu Forain, ouvrage n°76
 - Photo 7 - Ste Colombe de Peyre, ouvrage n° 103
 - Photo 8 - La Fage St Julien, ouvrage n° 112
 - Photo 9- St Alban sur Limagnole, ouvrage n° 134
 - Photo 10- Ste Colombe de Peyre, ouvrage n° 187
 - Photo 11- St Pierre le Vieux, ouvrage n° 72
 - Photo 12- Les Laubies, source n°161
 - Photo 13- Cours d'eau en Margeride

Photo 14- La Fage St Julien, ouvrage n° 184

Photo 15- La Fage St Julien, ouvrage n° 183

Photo 16- Ste Colombe de Peyre, ouvrage n° 72

Photo 17- Rimeize, ouvrage n° 173

Photo 18- Prinsuejols, ouvrage n° 101

Photos 19-20- Les Laubies, ouvrage n° 7

LISTE DES ANNEXES

Annexes intégrées au rapport

- Ann. 1 - Méthodologie de prospection des aquifères de socle couplant émanométrie radon et géophysique.
- Ann. 2 - Liste du matériel de terrain.
- Ann. 3 - Calendrier retraçant les différentes périodes du stage.
- Ann. 4 - Coordonnées des maires des communes concernées par les travaux.
- Ann. 5 - Rapport explicatif de l'adduction d'eau potable à St Gal, Grenaldès et Choisines.
- Ann. 6 - Plaque de jaugeage de Morin.
- Ann. 7 - Notice d'utilisation du Nautilus C 2000.
- Ann. 8 - Feuille de jaugeage
- Ann. 9 - Notice simplifiée d'utilisation du logiciel BIBER pour le dépouillement de jaugeages des cours d'eau avec le Nautilus C2000.
- Ann. 10 - Variation de la conductivité à 20° C en fonction de la nature des sels et de leur concentration
- Ann. 11 - Fichier Sources.doc
- Ann. 12 - Fichier Rivières.doc
- Ann. 13 - Erreur sur la mesure de débit, en fonction du récipient utilisé et du débit jaugé
- Ann. 14 - Liste des stations du réseau hydrométrique de EDF

Annexes jointes au rapport

Nota : les données correspondantes sont disponibles au BRGM Montpellier.

Données brutes des jaugeages des cours d'eau à l'aide du Nautilus C 2000 et traitements avec le logiciel de dépouillement BIBER.

Fiches de dépouillement des jaugeages chimiques des cours d'eau.

INTRODUCTION

La direction de la Recherche du BRGM effectue en partenariat avec le Conseil Général de la Lozère et l'Agence de l'Eau "Adour Garonne", un travail de recherche appliquée sur le bassin versant lozérien de la Truyère, affluent du Lot (Figure 1), intitulé :

"Ressources en Eau de la Margeride Ouest - Bassin de la Truyère".

Les principaux objectifs de ce travail sont :

- la caractérisation des différentes formations aquifères (pour l'essentiel socle et altérites, secondairement alluvions),
- la mise au point d'une méthodologie de mise en valeur et d'évaluation des ressources en eaux souterraines en région de socle,
- l'implantation de forages expérimentaux. Le choix des lieux d'implantation sera effectué en tenant compte du réseau de distribution en eau potable afin de pouvoir y relier les nouveaux ouvrages si les résultats sont satisfaisants.

Le stage de fin de deuxième année du diplôme d'ingénieur, département des Sciences et Technologies de l'Eau, ISIM, que j'ai effectué, s'intègre dans le cadre de ce projet. Il porte sur l'évaluation des ressources en eaux souterraines sur le bassin versant lozérien de la Truyère.

L'encadrement a été effectué par M. P. LACHASSAGNE, hydrogéologue à la Direction de la Recherche du BRGM, responsable du projet "Hydrogéologie des aquifères discontinus".

Du 22 Juillet au 09 Septembre 1998, 3 semaines ont été consacrées à la préparation des 6 semaines de travaux de terrain. La fin du stage a permis la mise en forme des données recueillies puis la rédaction du rapport.

Mon intervention a principalement consisté en :

- un recensement des émergences ponctuelles d'eau souterraine sur le secteur d'étude, une visite des sites (sources non captées, ouvrages de captage, fontaines, abreuvoirs, etc., alimentés par des eaux souterraines) et l'acquisition de leurs données géographiques, géologiques, physico-chimiques et hydrodynamiques,
- des jaugeages différentiels sur plusieurs sous bassins du bassin versant lozérien de la Truyère.

Au cours de la recherche des sites sur le terrain, de nombreuses personnes ont été sollicitées (riverains, élus, responsables de la distribution en eau potable et de l'entretien des sites, agents du BRGM, etc.), elles ont permis l'acquisition de données complémentaires. Je les remercie toutes, ainsi que les agents du BRGM, pour leur accueil toujours chaleureux, leurs conseils et le temps qu'ils m'ont consacré.

1ère PARTIE

PRESENTATION DU PROJET

"RESSOURCES EN EAU DE LA MARGERIDE OUEST"

"BASSIN DE LA TRUYERE"

CONTEXTE DU STAGE

1. CONTEXTE DU STAGE

1.1. Le projet 'Ressources en Eau de la Margeride Ouest - Bassin de la Truyère'

1.1.1. Objectifs du projet

Le département de la Lozère, dont les deux tiers de la superficie sont formés de socle cristallin, présente un habitat très dispersé. Les communautés rurales sont pour la plupart alimentées en eau potable par le captage de sources dont le débit unitaire est relativement faible surtout en période d'étiage. Dans ce contexte, des problèmes de quantité et de qualité de la ressource en eau se posent.

Les décideurs locaux souhaitent mettre en valeur des ressources en eau complémentaires, au débit unitaire plus important, moins dispersées, plus faciles à protéger, en faisant appel notamment aux eaux souterraines. Dans ce but, le Conseil Général de la Lozère a demandé au BRGM de mettre en œuvre un programme de recherche scientifique et technique concernant le bassin versant de la Truyère destiné à :

- améliorer la connaissance fondamentale de la structure et du fonctionnement des hydrosystèmes de socle (substratum cristallin, altérites, formations alluviales) de la Lozère,
- mettre au point une méthodologie opérationnelle de prospection et d'implantation de forages en région de socle,
- apporter des éléments opérationnels de démonstration de l'efficacité de cette méthode en réalisant des sondages de reconnaissance,
- évaluer la ressource en eau exploitable.

Le projet, d'une durée prévisionnelle de 2 ans, a débuté en Février 1998.

1.1.2. Méthodologie de mise en œuvre et phasage des travaux

1.1.2.1. Identification des différentes formations aquifères et sélection de secteurs d'investigation de terrain

La première phase comprend une approche géologique et hydrogéologique générale du bassin versant lozérien de la Truyère. Après des vérifications de terrain, elle débouche sur une cartographie préliminaire des potentialités en eau souterraine des différentes formations géologiques (socle, altérites et formations alluviales). Le choix de sites expérimentaux de prospection est en cours (4 zones d'étude au sein du socle, 2 zones au sein des formations alluviales), en concertation avec les décideurs locaux.

Deux approches distinctes sont mises en œuvre respectivement pour le socle cristallin et les formations alluviales.

Le socle cristallin : substratum rocheux et altérites

- Etude de la lithologie et établissement d'une carte géologique synthétique, avec indication de l'aptitude relative des différentes formations géologiques vis à vis de la ressource en eau souterraine, déterminée au moyen de recherches bibliographiques concernant l'hydrogéologie (cartes géologiques, banque du sous-sol, travaux déjà effectués), afin d'identifier les formations géologiques les plus productrices,
- détermination de l'épaisseur des altérites à l'échelle du 1/100.000^e (elles constituent le réservoir déterminant pour les eaux souterraines alors que le socle fracturé a une capacité de stockage moindre en raison d'une faible porosité) par modélisation des paléosurfaces d'altération :
 - à l'aide du modèle numérique de terrain de l'IGN et d'observations géologiques, la paléosurface du toit des altérites des granites est reconstituée, ainsi que l'épaisseur des altérites et celle de la zone fissurée sous-jacente,
 - une approche hydrogéologique couplée à l'utilisation de la carte des pentes, permet de déterminer la hauteur des altérites saturées en eau,
- étude de la fracturation du socle granitique par la caractérisation des linéaments à l'aide de photographies aériennes, avec une validation sur le terrain, et par l'étude des états de contrainte afin de distinguer les fractures les plus susceptibles d'être en ouverture,
- prise en compte de la topographie afin de caractériser les effets de drainage des aquifères.

Les formations alluviales

- Recherche des zones de remontée du substratum rocheux (verrous) à l'amont desquelles des surépaisseurs de formations alluviales peuvent être présentes :
 - recherches bibliographiques (cartes géologiques, cartes topographiques, banque du sous-sol, travaux déjà effectués),
 - contrôles de terrain,
- estimation de la lithologie, de l'extension latérale, de l'épaisseur des alluvions.

1.1.2.2. Mise au point d'une méthodologie de prospection hydrogéologique des formations du socle cristallin

Une méthode d'implantation des forages d'eau en contexte de socle, couplant émanométrie (dosage des gaz du sol, en particulier du radon) et prospection géophysique (sondages et traînés électriques) est en cours de développement dans le cadre de projets en Guyane et Afrique sahélienne. Une adaptation de ces travaux dans le contexte lozérien sera mise en œuvre sur les sites expérimentaux en zone de socle. Une description de cette méthode est présentée en annexe 1. Une campagne de sondages de reconnaissance est prévue en 1999.

1.1.2.3. Reconnaissance des formations alluviales. Evaluation de la ressource exploitable

- Caractérisation de la nature de l'aquifère alluvial (géométrie, épaisseur mouillée, paramètres hydrodynamiques : perméabilité, emmagasinement) :
 - réalisation de sondages à la tarière sur camion,
 - équipement des sondages en piézomètres et nivellement,
 - réalisation de pompages d'essai ainsi que de mesures piézométriques,
- Construction d'un modèle mathématique et détermination des volumes exploitables ainsi que de l'impact de cette exploitation, en particulier sur le cours d'eau.

1.1.2.4. Evaluation de la ressource en eau du bassin versant de la Truyère

Il s'agit de déterminer la ressource en eau à l'échelle du bassin versant afin de disposer, entre autres, d'éléments d'appréciation :

- de l'impact d'une exploitation future des eaux souterraines réalisée par forage,
- du rapport ressource/débit exploité, dans le cas des sources captées pour l'alimentation en eau potable.

L'acquisition des données est prévue au cours des deux périodes d'étiage 1998 et 1999. Elle comprend les points suivants :

- recherches bibliographiques afin de localiser les points d'eau (captés ou non), recueil de données existantes (banque du sous-sol, dossiers communaux, DIREN, DDASS, DAF, travaux antérieurs),
- collecte d'informations auprès des élus, des responsables locaux, des habitants,
- visite et jaugeage des sources en période d'étiage,
- jaugeages des eaux de surface,
- caractérisation physico-chimique de terrain (pH, température, conductivité),
- traitement des données des jaugeages en fonction des conditions hydrologiques (importance des pluies efficaces, conditions météorologiques lors des mesures),
- traitement des données géologiques et géographiques.

1.1.2.5. Bilan et prospectives

Les ressources disponibles identifiées seront confrontées aux besoins des communes afin d'apporter au comité de pilotage du projet les éléments nécessaires au choix des sites d'implantation des forages expérimentaux et, de préparer les éléments pour un futur schéma directeur.

1.2. Objectifs spécifiques du stage. Organisation

Contractuellement, il a été convenu lors du montage du projet que le travail de recueil des données prévu dans le cadre de la phase d'évaluation des ressources en eau sera essentiellement confié à des stagiaires. La première campagne a été effectuée au cours de la période d'étiage 1998 (Juillet à Septembre), la seconde se déroulera au cours de la période d'étiage 1999.

La première phase du travail du stage a consisté en un recensement de données disponibles afin de localiser le plus grand nombre possible de sources et, de déterminer un plan d'action pour cette première campagne de terrain. La totalité des sites ne pouvant être visités au cours de la période impartie, une vision globale à l'échelle du bassin versant a été recherchée. Les données recueillies seront précisées et complétées par la seconde campagne qui se déroulera au cours de l'été 1999.

Les sites ont été recensés en utilisant le fond documentaire disponible au BRGM (BRGM : fiches établies par P. BERARD, dossiers communaux, cartes topographiques au 1 / 25.000^e IGN, banque du sous-sol, données BRL, données de la Société du Canal de Provence, etc.) ainsi que celui communiqué par les différents organismes associés au projet (Conseil Général de la Lozère, DIREN, DDASS, DAF, EDF, etc.).

Les informations ont été synthétisées sous forme d'une base de données au format Microsoft EXCEL.

Après l'acquisition et la préparation du matériel nécessaire aux travaux de terrain (annexe 2), la campagne a débuté. Sur les différents secteurs d'étude déterminés, des jaugeages différentiels sur les bassins versants des principaux affluents de la Truyère ont été effectués et les sources visitées.

Les différents critères qui ont été précisés au niveau des points d'eau sont les suivants :

- localisation géographique précise à partir de la cartographie 1 / 25.000^e et au moyen d'un GPS (GPS GARMIN 75, acquisition maximale de 9 satellites, système de projection "Européen 1950" correspondant à la projection Mercator Transverse Universelle. Précision estimée à 20 m lorsque le GPS reçoit le signal de 9 satellites),
- géologie et contexte hydrogéologique d'émergence des eaux souterraines,
- communes et hameaux alimentés, dans le cas de sources captées,
- caractérisation physico-chimique de terrain (pH, température, conductivité) des eaux souterraines et des eaux de surface,
- jaugeage,
- observations particulières.

De plus, des informations ont été recueillies auprès de la population, des élus (maires, adjoints, conseillers), des responsables locaux de la distribution en eau potable (présidents des syndicats, CGE).

La dernière phase consistera en une interprétation des données replacées dans leur contexte hydro-météorologique puis en une validation de celles-ci avec les mesures effectuées en parallèle, par la DIREN et EDF au niveau de stations de jaugeage, par la CGE et certains organismes, au niveau des captages d'alimentation en eau potable.

Cette partie sera poursuivie à l'issue du stage.

Un calendrier retraçant les différentes périodes du stage est présenté en annexe 3.

2. IDENTIFICATION DU PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE

Le périmètre d'étude comprend les 35 communes suivantes (Figure 2) :

Albaret Sainte Marie	Prunières
Aumont Aubrac	Ribennes
Les Bessons	Rieutort de Randon
Blavignac	Rimeize
Chaulhac	Saint Alban sur Limagnole
La Chaze de Peyre	Saint Amans
Estables	Saint Chely d'Apcher
La Fage Saint Julien	Sainte Colombe de Peyre
Fau de Peyre	Saint Denis en Margeride
Fontans	Sainte Eulalie
Javols	Saint Gal
Julianges	Saint léger du Malzieu
Lajo	Saint Pierre le Vieux
Les Laubies	Saint Privat du Fau
Malbouzon	Saint Sauveur de Peyre
Le Malzieu forain	Serverette
Le Malzieu Ville	Termes
Les Monts Verts	La Villedieu

Certaines communes sont regroupées en syndicats intercommunaux pour l'alimentation en eau potable (Aumont-Aubrac, La Chaze de Peyre, Javols : SIAEP Aumont - La Chaze - Javols ; La Fage Saint Julien, Termes, Les Monts Verts : SIAEP du Rû de Fontbelle).

L'alimentation en eau des communes de Saint Alban sur Limagnole et de Saint Chely d'Apcher est concédée à la Compagnie Générale des Eaux.

3. CARACTÉRISATION DU BASSIN VERSANT

3.1 Géologie du bassin versant de la Truyère

La carte géologique (LE STRAT, 98) met en évidence les points suivants (Figure 3) :

- la plus grande partie du bassin versant est formée de granites porphyroïdes calco-alkalin à biotite, le granite de la Margeride.

Au sud-est, celui-ci présente un faciès plus sombre. Il est localement recoupé par des filons de microgranite.

La partie centrale et certaines zones à l'ouest et au sud du bassin versant sont recoupées par des leucogranites, caractérisés généralement par une couverture d'altérites plus faible que celui du granite porphyroïde :

- au nord et au sud se trouvent les roches métamorphiques au sein desquelles le laccolite granitique s'est injecté ;
- au tertiaire (oligocène principalement), des bassins sédimentaires de type "limagne" se sont formés et ont été comblés par les produits de l'érosion du granite (altérites principalement) ;
- la zone d'étude comprend également des formations volcaniques rattachées au volcanisme de l'Aubrac ;
- au sud-ouest une zone de dépôts glaciaires liés à la glaciation quaternaire du massif de l'Aubrac déborde un peu sur le bassin versant ;
- des éboulis, des alluvions, de la tourbe ainsi que des colluvions se trouvent principalement le long des cours d'eau.

L'interprétation des photographies aériennes de l'IGN ainsi que des vérifications de terrain (BRUEL, 98) et l'analyse de l'état des contraintes actuelles ont révélé l'existence de 5 principales familles d'orientation des linéaments (Figure 4). Les fractures les plus favorables du point de vue hydrogéologique (N125°E 10°) sont légèrement obliques par rapport à l'axe de la contrainte principale (N140 à 150°E). Lorsqu'elles s'éloignent de cette orientation, les fractures sont moins favorables. Le cas le plus défavorable correspond à la famille perpendiculaire à la contrainte principale (N55°E).

3.2. Eléments d'hydrogéologie, schéma conceptuel

Dans le contexte géologique du bassin versant de la Truyère, les systèmes aquifères sont constitués schématiquement :

- du substratum rocheux, localement très perméable au droit des fractures qui l'affectent. Il n'offre en général qu'une très faible capacité de stockage d'eau souterraine à l'échelle du massif,
- des formations d'altération du substratum qui le recouvrent sur une épaisseur variable (0 à plus de 30 m). Leur perméabilité est relativement faible mais elles offrent d'importantes capacités de rétention d'eau,

- d'alluvions associées aux principaux cours d'eau. Elles peuvent constituer dans certains cas une ressource en eau souterraine significative.

La ressource en eau souterraine peut être valorisée de deux manières (Figure 5) :

- par captage traditionnel, en collectant les eaux de débordement de l'aquifère au niveau des sources d'arènes. Ce type de captage présente l'inconvénient de produire des débits exploitables limités, surtout en période d'étiage, et d'être relativement vulnérable,

- par forages d'une profondeur pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres, recoupant les fractures de la roche saine. Le drainage des altérites sus-jacentes assure la pérennité du débit exploité.

3.3. Epaisseur de la zone fissurée et des altérites

L'épaisseur résiduelle des altérites (de 0 à 50 m) et celle de la frange superficielle fissurée du substratum rocheux (de 0 à 30 / 40 m) ont été déterminées par modélisation des paléosurfaces d'altération (WYNS, 98) (Figure 6). Les épaisseurs maximales sont observées au droit des bassins sédimentaires tertiaires ainsi que dans les parties "effondrées" des compartiments. Dans les vallées les plus profondément entaillées ainsi que sur les sommets rabotés par l'érosion glaciaire (Margeride, Aubrac), les altérites et la zone fissurée du substratum ont été totalement érodées.

Le croisement de ces informations a permis d'établir, par pondération de ces différents critères :

- une carte préliminaire des potentialités en eau souterraine (Figure 7) qui sera précisée dans le cadre des phases ultérieures du projet (LACHASSAGNE et al.).
- une carte des régions retenues pour la recherche de sites de prospection socle et alluvions (Figure 8).

3.4. Hydrologie

La haute Truyère est une rivière issue de la confluence de plusieurs ruisseaux qui prennent leur source dans la forêt Lozérienne de la Villedieu (Valat du Bois Long, Valat des Trois Sœurs) où, les granites porphyroïdes à biotite dominant.

Au cours des premiers kilomètres, elle s'écoule en direction du sud-ouest puis bifurque vers le nord pour quitter le département de la Lozère au niveau de la commune de Chaulhac.

Ses principaux affluents sont le Triboulin sur la commune de Serverette, Le Guitard et La Limagnole sur la commune de Saint Alban sur Limagnole. Le Chapouillet et La Rimeize sur la commune de Rimeize, Le Galastre sur la commune du Malzieu Ville.

Son débit est de plus renforcé par des apports issus de La Colagne, qui s'écoule plus au sud, effectués par l'intermédiaire d'un canal souterrain. Cela renforce l'efficacité des installations de production d'électricité gérées par E.D.F. (barrages de Grandval et Sarrans). Les données relatives aux quantités d'eau transférée seront collectées ultérieurement.

2^e PARTIE

LES TRAVAUX DE TERRAIN

PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

1. PRÉSENTATION DES TRAVAUX DE TERRAIN

1.1. Nature des sites visités

Dans le cadre de l'évaluation des ressources en eau, toute venue d'eau, captée ou non, est porteuse d'informations. Nous nous sommes donc intéressés d'une part, aux cours d'eau, qui collectent les venues diffuses d'eau souterraine, et d'autre part, aux sources non captées, aux sources captées, aux captages par drainage (qu'ils soient destinés à l'alimentation en eau potable ou à des usages agricoles), aux fontaines, aux abreuvoirs et, aux tranchées drainantes.

1.2. Organisation des visites

Les sites visités ont été sélectionnés en fonction de leur accessibilité : les sites proches ou en bordure de voiries carrossables ont été privilégiés. Toutefois, certains captages accessibles uniquement en 4*4 ont pu être visités avec l'aide d'accompagnateurs. Une liste des coordonnées des mairies ainsi que des heures d'ouverture des mairies (annexe 4) a facilité les prises de contact.

A l'échelle de la semaine, la planification dans le temps des visites et surtout celle des journées consacrées aux jaugeages des cours d'eau (afin de les mettre en œuvre en période non influencée par des précipitations récentes) a été réalisée grâce aux prévisions météorologiques à 7 j délivrées par Météo France (08 36 68 02 48).

Chaque visite comprend :

- la collecte de renseignements auprès de riverains (accès à l'ouvrage, villages et hameaux alimentés, origine de l'eau des fontaines : captage ou trop plein du réservoir),
- recherche de l'ouvrage,
- relevé des données (localisation exacte, lithologie, contexte d'émergence, profondeur de l'arrivée d'eau naturelle ou liée aux aménagements, température, conductivité, pH, conditions météorologiques, observations complémentaires).

Afin de recueillir le plus de données possible au cours des journées de terrain, une durée maximale de 1 heure a été consacrée à la phase de recherche des ouvrages. Au sein de la banque de données, un code particulier a été affecté aux sites non trouvés.

Les différents interlocuteurs rencontrés ont permis d'obtenir des renseignements sur certains réseaux d'adduction en eau potable (Rû de Fontbelle, captage en rivière de Sainte Eulalie, montagne de Mialanes), ce qui est nécessaire pour

guider le choix d'implantation des forages en vue d'une éventuelle utilisation pour le renforcement de l'alimentation en eau potable de certaines communes

Des renseignements et des documents concernant d'anciens captages pour l'alimentation en eau potable ont été acquis (annexe 5).

1.3. Repérage et ouverture des ouvrages

La plupart des sites captés sont fermés par un couvercle en fonte muni d'une cheminée d'aération ce qui facilite leur visualisation (Photo 1). Toutefois la végétation pouvant être très importante et masquer le captage, le périmètre de protection rapproché peut aussi constituer une indication (il n'existe cependant pas toujours). En effet, les poteaux en béton soutenant le grillage (Photo 2) contrastent souvent avec le matériau des piquets de clôture des champs et pâturages, constitués de bois ou de granite. L'importance de la végétation peut, dans certains cas, être un bon indice (Photo 3)...

Les couvercles en fonte s'ouvrent avec une clé triangulaire ou une clé à pipe de 19 mm. Des exceptions ont été rencontrées car la fermeture a parfois été renforcée par un cadenas ou nécessitait une clé différente (pas carré pour lequel une clé de 13 est efficace, clé de 17 pour certains dispositifs triangulaires). Certains captages sont fermés par un couvercle en tôle muni d'un cadenas (Photo 4), une porte munie d'un verrou ou une lourde plaque de béton.

Une discussion avec des riverains proches du site permet souvent de s'informer sur le mode de fermeture et, dans certains cas, d'obtenir l'adresse du détenteur des clés. Elle permet également d'expliquer l'objet de notre présence sur le site, toutes les parcelles étant clôturées, cultivées ou occupées par des troupeaux de brebis ou de vaches. Ces dernières sont toujours attirées par une présence et peuvent venir troubler les mesures voire détériorer le matériel, elles peuvent être rendues agressives par des mouvements brusques surtout lorsque leur veau se trouve à proximité. La présence de taureau n'est pas à négliger. A deux reprises, les lieux ont dû être quittés rapidement. Dans ce type de configuration, il convient de ne pas disperser trop le matériel de mesure afin de pouvoir assurer un repli rapide sans dommage. A la fin de chaque journée de terrain, un appel téléphonique à un agent du BRGM à Montpellier a permis de vérifier le bon déroulement des visites ainsi que de rappeler le secteur d'étude du lendemain.

A l'aval des captages, le trop plein est souvent utilisé pour alimenter un abreuvoir. Si le captage ne peut être ouvert, les mesures physico-chimiques peuvent y être effectuées (la température de l'eau sera un peu supérieure à celle mesurée juste à l'arrivée dans le captage, les mesures étant réalisées en été). La mesure du débit

peut parfois être assimilée au débit réel du captage si l'on peut s'assurer qu'aucun débit n'est soutiré au moment de la mesure (ceci est valable pour les petits hameaux en considérant que le réseau ne présente pas de fuites trop importantes).

Un nombre très faible de sites cherchés n'ont pu être trouvés. Certaines visites n'ont pu être effectuées car le couvercle ne pouvait basculer assez pour se maintenir ouvert et un blocage artificiel était beaucoup trop incertain à la vue du poids des couvercles (danger de fermeture au cours des passages et pendant la réalisation des mesures). Quelques visites ont été interrompues par la présence de nids de guêpes sous le couvercle (les gants de protection sont conseillés pour l'ouverture et la fermeture).

1.4. Organisation intérieure des ouvrages

La chambre de réception des eaux captées, de forme rectangulaire ou circulaire, est plus ou moins profonde. Cette donnée, recoupée avec la pente topographique, peut donner une information sur le niveau de l'eau dans l'aquifère.

Des galeries drainantes sont aménagées si le terrain le permet (Photo 5) ; certaines sont suffisamment importantes pour pouvoir être visitables (Photo 20). Sur certains sites, des drains installés perpendiculairement aux galeries et s'y déversant, améliorent les performances du captage.

Le dispositif de collecte est le plus souvent constitué de drains non visitables (tuyaux en PVC de 5 à 15 cm de diamètre) (Photo 6).

En général, la chambre de réception est dotée de deux bacs communiquant par un déversoir et jouant respectivement un rôle de bac de décantation et de dispositif de mise en charge de la conduite d'adduction (Photo 7). Chacun d'entre eux est muni d'un dispositif de trop plein qui alimente le plus souvent un abreuvoir ou une fontaine en contre bas. Le tuyau de départ est fréquemment muni d'une crépine à larges ouvertures. Une vanne, en aval immédiat, permet de réguler le débit transitant vers le réservoir, si besoin est (Photo 8).

Certains captages privés sont de fabrication plus sommaire en drainant des arrivées d'eau diffuses (Photo 9).

2. MÉTHODES DE JAUGEAGE DES SOURCES

2.1. Jaugeage des sources captées

2.1.1. Drains

Une mesure instantanée à l'aide d'un récipient étalonné (seau, bêche) et d'un chronomètre a paru la plus appropriée. Les erreurs sur le temps (0.5 s) et la lecture du niveau d'eau (bêche 500 ml : 10 ml, seau 5 l et 10 l : 100 ml) ont été minimisées par le calcul d'une moyenne sur 3 mesures consécutives.

Dans les cas où plusieurs drains arrivent dans la chambre de captage, des mesures séparées ont été effectuées, et ce, pour tous les paramètres. Ceci est indispensable car certains captages sont interconnectés afin de minimiser le réseau d'adduction vers les réservoirs. L'origine des différents drains peut alors être déduite de l'observation de leur orientation, de leur couleur, mais surtout des caractéristiques mesurées.

Certaines arrivées sont inaccessibles, auquel cas une estimation grossière à vue a été effectuée, d'autres, totalement immergées, n'ont pu être jaugées.

2.1.2. Galeries drainantes

Le jaugeage est rendu difficile, voire impossible, par l'arrivée très étalée de l'eau au niveau de la chambre de réception.

Le déversement de l'eau du bac d'arrivée vers le bac de départ à travers un tuyau (Photo 10) rend la mesure possible. Ce n'est toutefois pas le cas pour la plupart des sites visités.

Cependant la proportion de galeries drainantes reste faible par rapport aux drains.

2.1.3. Plaque de MORIN

Des déversoirs de type Morin ont été utilisés pour équiper 60 sources, réparties sur l'ensemble du département de la Lozère, dans le cadre d'une étude d'observation du socle cristallin, effectuée par le Service Régional de l'Aménagement des Eaux (rattaché depuis à la Direction Régionale de l'Environnement), pour le Conseil Général de la Lozère (1993).

Le déversoir, mis au point par M. MORIN, permet une lecture directe du débit (en l/mn) en fonction du niveau de l'eau. Il s'agit d'une plaque rectangulaire

(25*30 cm), en Duralumin de 2 mm d'épaisseur, percée d'une échancrure profilée en forme de "Tour Eiffel" (annexe 6). Elle est placée entre le bac d'entrée de l'eau et celui de sortie (Photo 11).

Le profil exact de l'orifice a été étudié de façon à ce que le débit le traversant soit directement proportionnel à la charge d'eau de la retenue formée en amont de la plaque au-dessus du repère 0.

Sur ces sites ont été réalisés conjointement une lecture du débit à la plaque de Morin et un jaugeage habituel. Les deux valeurs ont été consignées au sein de la base de données.

2.2. Jaugeages des sources non captées

Un aménagement sommaire du site est dans ce cas nécessaire avec la construction d'un petit déversoir. L'étanchéité est très difficile à assurer car les arrivées d'eau sont le plus souvent diffusées (Photo 12).

Peu de sources non captées ont été visitées en raison des erreurs de mesure importantes sur le débit et du grand nombre de sites aménagés accessibles.

3. METHODES DE JAUGEAGE DES COURS D'EAU

3.1. Jaugeage à l'aide d'un capteur de vitesse

3.1.1 Matériel de mesure

Le matériel de jaugeage utilisé est fabriqué par la société OTT. Les références sont :

- Capteur : NAUTILUS C 2000
- Compteur : SENA Z 300, 10.400.000.B.E.

Les mesures couvrent toutes les gammes de vitesse (à partir de 0.001 m/s). Le certificat d'étalonnage indique que les valeurs déterminées sont dans les limites de la tolérance de 1 % de la valeur mesurée ± 2 mm/s.

Deux méthodes de mesure sont possibles :

- Mesure en continu :

La sonde est activée toutes les 0.5 secondes.

Une moyenne mobile est calculée à partir de chaque groupe de 8 valeurs, la vitesse est affichée toutes les 0.5 secondes en m/s.

- Mesure moyenne pendant un temps choisi :

Le temps de mesure peut être réglé auparavant : 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 ou 60 secondes.

Une fois le temps de mesure écoulé, la vitesse moyenne est donnée en m/s.

Les mesures peuvent être effectuées en mode automatique ou manuel :

- Mesure automatique : la dernière valeur mesurée remplace la précédente. Les mesures sont automatiquement effectuées sans activation de l'appareil par l'utilisateur.

- Mesure manuelle : Exécution d'une mesure par activation d'une touche, le résultat est ensuite affiché. Il subsiste jusqu'à ce qu'une nouvelle mesure soit lancée.

Les mesures peuvent être directement transférées à un ordinateur par l'intermédiaire d'un cordon (type RS232).

Dans le cadre de la préparation de la mission de terrain, une traduction de la notice originale, écrite en Anglais, a été effectuée à l'attention du personnel du BRGM susceptible d'utiliser le Nautilus C 2000 (annexe 7).

3.1.2. Choix du tronçon de mesure

L'écoulement à travers la section de jaugeage doit être permanent et uniforme, c'est-à-dire, comporter des filets liquides le plus parallèles possible les uns par rapport aux autres, sans tourbillons ni remous.

Plusieurs critères permettent le choix d'une section de mesure convenable :

- le lit doit être bien marqué,
- la profondeur suffisante,
- éviter les zones turbulentes (proximité de rochers, de branchages...),
- éviter les rétrécissements, les élargissements, la proximité de virages,
- éviter les zones où la végétation aquatique est trop importante, etc.

Des dispositifs tranquilisateurs peuvent être installés en amont ou les berges réaménagées provisoirement.

Sur la zone d'étude, les cours d'eau sont souvent très tortueux et forment des méandres au milieu des pâturages (Photos 13).

Le fond peut être sableux, graveleux ou rocheux. Parfois, des algues filamenteuses, pouvant présenter une longueur atteignant le mètre sont présentes.

Des aménagements importants, afin d'uniformiser le débit, ont souvent été nécessaires (déplacements de blocs, régularisation de bancs de sable, élimination des algues, dégagement des berges, etc.) sur 10 à 15 m de longueur.

3.1.3. Protocole de mesure

La répartition des vitesses est définie dans une section transversale du cours d'eau. Les mesures sont effectuées sur des verticales dont la distance par rapport à la rive est repérée au moyen d'un décamètre. Le débit par unité de largeur, profil unitaire, peut être calculé par intégration des vitesses sur les hauteurs (ordonnées) puis le débit total obtenu par intégration des profils unitaires sur la largeur (l'abscisse).

L'espacement entre les verticales est fonction de la largeur du cours d'eau (20 à 30 cm pour les cours d'eau de 1 à 2 m de largeur ; 50 cm pour les cours d'eau plus importants jusqu'à 11 m).

Il a été pris soin de placer une verticale au droit de la zone la plus rapide (qui n'est pas forcément en position centrale).

Le capteur ayant 4 cm de diamètre, une lame d'eau inférieure à 6 cm est difficilement jaugeable.

Le nombre de mesures sur une verticale est fonction de la profondeur de cette dernière.

Pour une profondeur inférieure à 10 cm, 2 mesures ont été effectuées :

- surface (le haut de la sonde est placé 0.5 cm sous la surface. Lors du dépouillement les capteurs sont considérés de 2.5 à 3 cm sous la surface selon les cas),
- fond (les capteurs sont considérés à 2 cm au-dessus du fond).

Entre 10 et 20 cm de profondeur, 3 mesures ont été effectuées :

- Surface,
- centre,
- fond.

Au-delà de 20 cm de profondeur, 5 mesures, réparties de façon homogène sur la verticale, ont été effectuées (la section la plus profonde faisait 0.70 m, en général la profondeur maximale est de 0.3 à 0.4 m).

Le mode de mesure moyenne, sur une durée de 15 s, en mode manuel, a été utilisé pour effectuer les mesures.

Une fiche de présentation des données brutes a été établie (annexe 8) afin de faciliter leur notation au cours des jaugeages. Un système de port en bandoulière a été "bricolé".

3.1.4. Dépouillement des données

Le logiciel BIBER, développé par le fabricant OTT, a été utilisé pour le dépouillement des jaugeages.

Dans le cadre de la préparation de la mission de terrain, l'élaboration d'une notice simplifiée d'utilisation du logiciel BIBER a été effectuée à l'attention du personnel du BRGM susceptible d'utiliser le Nautilus C 2000 (annexe 9).

Tous les paramètres utilisés pour le dépouillement des jaugeages différentiels y sont indiqués.

3.2. Jaugeage chimique

Lorsque l'écoulement n'est pas uniforme, la méthode chimique a été utilisée. Elle nécessite un brassage de l'eau important.

3.2.1. Principe

Une quantité connue d'un traceur est injectée dans le courant. L'écoulement turbulent permet un mélange correct. Une série de prélèvements effectués à l'aval indiquent, par l'évolution de la concentration en marqueur, dans quelle proportion cette solution a été diluée par la rivière (la dilution étant une fonction du débit). Sous certaines conditions, il existe une relation entre le débit de la rivière et la dilution :

$$Q = k * C_1 / C_2$$

avec :

C1 = concentration du marqueur

C2 = concentration après dilution dans le cours d'eau

k = coefficient qui est fonction du matériel et du procédé utilisé.

Deux méthodes existent :

- la méthode par injection instantanée : déversement ponctuel d'un volume de solution mère. Elle présente le plus de risques d'erreurs car la prise d'échantillons doit couvrir toute la durée de passage du traceur, sa disparition totale pouvant être très difficile à apprécier,
- la méthode par injection à débit constant.

La méthode par injection instantanée a été utilisée car sa mise en œuvre est plus simple.

3.2.2. Méthode par injection instantanée

3.2.2.1. Principe

Un volume (v) de traceur, de concentration C , est injecté de manière "instantanée" au niveau d'une section $S1$. A une distance de "bon mélange", la concentration moyenne (c) du traceur sur toute la durée de son passage (T) est calculée.

La loi de conservation de la masse de traceur se traduit par la relation :

$$v.C = c.Q.T$$

avec :

v = volume de marqueur déversé

C = concentration de la solution mère

c = concentration moyenne du traceur sur toute la durée de son passage

T = temps de passage du traceur

Q = débit du cours d'eau.

Les qualités requises pour le traceur sont :

- grande solubilité dans l'eau,
- bonne stabilité chimique avec les eaux des cours d'eau,
- présence nulle dans les eaux naturelles (un taux faible et constant durant les prélèvements est acceptable),
- toxicité nulle à des teneurs plus élevées que celle utilisée,
- analyse simple même à faible concentration,
- coût réduit.

Les mesures de concentration peuvent être remplacées par des mesures de conductivité électrique (le traceur le plus couramment utilisé est alors le chlorure de sodium). En effet, la concentration totale en sels dissous dans l'eau est proportionnelle, pour les faibles concentrations, à la conductivité électrique de l'eau. Le coefficient de proportionnalité est fonction de la composition chimique des sels (0.6 à 0.8 en général) (annexe 10).

La faible conductivité électrique des eaux du secteur d'étude permettra l'observation de variations significatives.

3.2.2.2. Choix du tronçon de mesure

La présence de "poches d'eau" est à éviter absolument car il faut effectuer des prélèvements durant la totalité de la durée de passage du traceur. Les poches restituent lentement le traceur et risquent d'allonger excessivement le temps de prélèvement.

Un essai préalable avec injection d'un colorant (la fluorescéine par exemple) permet de vérifier l'absence de poches d'eau, de déterminer la distance de "bon mélange" ainsi que le temps de passage du traceur.

Si le débit du cours d'eau est trop faible, une partie significative du traceur peut être retenue sur les berges ou le fond du cours d'eau.

3.2.2.3. Mise en œuvre

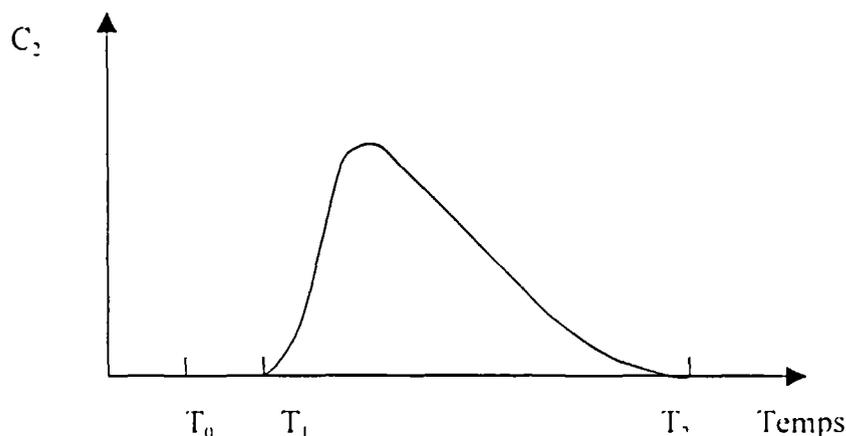
L'utilisation de cette méthode de jaugeage ayant été décidée en cours de mission, l'acquisition de colorant n'a pas été possible. Elle n'a été mise en œuvre que sur les petits cours d'eau turbulents et le plus grand soin a été porté au choix des tronçons de mesure.

Du sel fin convenablement dissous a été utilisé comme traceur. Le relevé des mesures a été effectué directement dans les cours d'eau, en se plaçant au niveau de la zone d'écoulement préférentiel, dans un secteur non turbulent permettant des mesures stables de la conductivité. La valeur de la conductivité électrique de l'eau a été notée toutes les 5 secondes.

Lorsque cela a été possible, un jaugeage a également été effectué à l'aide du Nautilus C2000.

3.2.2.4. Principe de dépouillement

Les données recueillies sont reportées sur un graphe en fonction du temps. Une courbe en cloche dissymétrique est le plus souvent obtenue.



C_2 : concentration au lieu de prélèvement

T_0 est l'instant initial de déversement du traceur.

La durée $T_1 - T_0$ représente le temps d'arrivée du traceur.

La durée $T_2 - T_1$ représente le temps de passage du traceur.

L'allure de la courbe est fonction du volume de traceur injecté, du temps d'injection, des caractéristiques topographiques du lit du cours d'eau et du débit.

Les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel Microsoft EXCEL.

La concentration moyenne du traceur sur toute la durée de son passage a été déterminée en calculant l'intégrale de la courbe de réponse (au-dessus de la conductivité naturelle du cours d'eau), avec la méthode des trapèzes, et en divisant cette intégrale par la durée de passage du traceur.

Tous les paramètres étant connus, l'application de la relation : $Q = v.C / c.T$, permet d'obtenir le débit recherché.

4. MESURES PHYSICO-CHIMIQUES DE TERRAIN

4.1. pH

Le matériel utilisé est de marque JENWAY, type IC3150.

Avant chaque journée de terrain, le pH-mètre a été étalonné avec des solutions à pH 4.01 et 6.87 (car les eaux du secteur étudié sont le plus souvent acides).

4.2. Conductivité

La dissociation des molécules en ions, en milieu aqueux, augmente le nombre de charges présentes et donc la conductivité électrique d'une eau.

Une mesure de conductivité indique donc le degré de minéralisation d'une eau.

Le matériel utilisé est de marque JENWAY, type 4200 (dernier calibrage le 02/07/98).

4.3. Température

La température est indiquée par le conductivimètre.

Le temps de séjour, même peu important, dans le bac de réception des captages, des abreuvoirs et des fontaines, permet, lors de mesures réalisées en été, un réchauffement significatif de l'eau. Les mesures ont donc toujours été effectuées le plus "en amont" possible du site visité, directement à l'intérieur du drain ou, si cela n'a pas été possible (débit trop faible pour immerger la sonde par exemple), dans un bécher, immédiatement après le prélèvement.

3^e PARTIE

PRESENTATION DES DONNEES

1. PRÉSENTATION DES MESURES AU NIVEAU DES SOURCES, FONTAINES, ABREUVOIRS

Les différentes informations recueillies ont été regroupées dans une base de données au format Microsoft EXCEL (fichier SOURCES.doc).

- Chaque ligne de cette base de données caractérise un ouvrage.
- Chaque ouvrage dispose d'un numéro d'ouvrage, attribué dans l'ordre de visite dans le cadre de la présente étude.
- Lorsque plusieurs drains convergent, vers une même chambre de collecte, les mesures effectuées sur chacun d'eux sont notées sur des lignes distinctes dotées d'un même numéro d'ouvrage (parfois affectés d'un "a", "b", "c", etc.).
- Lorsque des données sont disponibles à des dates différentes (informations bibliographiques et données acquises dans le cadre de la présente étude par exemple), la ligne de l'ouvrage est dupliquée autant de fois que l'on dispose de mesures à des dates différentes.
- Lorsqu'une correction (par rapport aux fiches établies par P. BERARD) des paramètres caractérisant le captage (localisation, nature de l'ouvrage, etc.) a été effectuée, elle est indiquée par un astérisque à la fin du nom de la commune.
- Un code indique le type de visite effectuée :
 - C : visite complète.
 - I : injaugeable : mesure de débit non réalisable,
 - J : jonction entre plusieurs captages. L'ouvrage considéré ne constitue pas un captage de source, mais seulement un dispositif regroupant les eaux provenant de plusieurs émergences, voire même d'autres jonctions,
 - N : L'ouvrage n'a pas été retrouvé,
 - P : mesures non complètes (ce paramètre se reporte à des sources visitées antérieurement à notre travail et pour lesquelles certains des paramètres n'ont pas été mesurés),
 - T : tarie lors de la visite de l'été 1998,
 - V : uniquement vue, mesures impossibles. Ouvrage retrouvé, mais qu'il n'a cependant pas été possible d'ouvrir.
- Commune. La figuration en *italiques* du nom de la commune indique que les données présentées sont issues des fiches dressées par P. BERARD.
- Lieu-dit.
- Nom ouvrage.
- Nature.
- Profondeur de la venue d'eau au niveau de la chambre de réception : profondeur du niveau d'arrivée des drains par rapport au niveau du sol au droit de la trappe d'entrée.
- Source captée ou non.
- Commune, villages et hameaux alimentés (lorsqu'ils ont pu être identifiés).

- Numéro BSS (banque du sous-sol).
- Coordonnées géographiques : Lambert III carto, unité kilomètre.
- Altitude (m NGF).
- "Contexte hydrologique" et "lithologie" : environnement géologique du captage et conditions d'émergence.
- Date des mesures
- Débit.
- Présence d'une plaque de Morin avec indication du type de plaque (débit maximal jaugeable : 35 l/mn ou 50 l/mn).
- Température.
- Conductivité.
- pH.
- Résidu sec (dans le cas d'analyses antérieures).
- Date de réalisation d'analyses antérieures.
- Conditions météorologiques de la mesure.
- Observations diverses.
- N° carte IGN 1/25.000^e.
- N° d'ouvrage.

Les données incertaines sont indiquées en italique : coordonnées et altitude (sites non visités), débit (estimé), température (non mesurée directement au captage).

Une sortie du fichier est présentée en annexe 11.

2. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DES JAUGEAGES DIFFÉRENTIELS DES COURS D'EAU

Les résultats des jaugeages ont été regroupés dans une base de données au format Microsoft EXCEL (fichier RIVIERES.doc) composée des éléments suivants :

- N° de dossier BIBER,
- Commune,
- Lieu-dit,
- Cours d'eau,
- Coordonnées Lambert III carto, altitude.
- Lithologie : nature du fond.
- Date du jaugeage.
- Type de jaugeage (à l'aide du Nautilus ou chimique)
- Débit mesuré.
- Vitesse.
- Surface de la section jaugée,
- Température,

- Conductivité.
- pH.
- Conditions météorologiques.
- Observations diverses.
- Carte IGN 1/25.000^e.
- N° de visite.

Une sortie du fichier est présentée en annexe 12.

Les données brutes des jaugeages avec le Nautilus et des jaugeages chimiques, ainsi que les résultats obtenus, figurent dans un dossier annexe.

4^e PARTIE

COMMENTAIRE DES RESULTATS

Cette partie ne constitue qu'une première approche de discussion des résultats. En effet, notre stage ne constitue que la première année (sur deux prévues) d'acquisition de données. En outre, des données complémentaires devront alors être recueillies pour interpréter finement l'ensemble des informations : mesures de débit effectuées par la DIREN et EDF, données météorologiques (Météo France), etc. Ce travail sera bien évidemment poursuivi à l'issue du stage.

1. LES DIFFÉRENTS TYPES DE SOURCES ET CAPTAGES RENCONTRÉS

Les visites ont permis de procéder à des mesures sur des sources non aménagées (ou au sein desquelles d'éventuels aménagements anthropiques ne sont plus discernables) et sur des captages.

Les conditions d'observation de leur contexte d'émergence sont souvent relativement médiocres. Le suivi de travaux de captage serait très instructif pour mieux comprendre les conditions d'émergence.

1.1. Les sources

La présence d'une source est liée à la conjonction de plusieurs facteurs favorisant l'émergence des eaux souterraines :

- la présence d'une formation aquifère. Dans le contexte de la région étudiée, il s'agit en général des altérites sablo-argileuses, en place ou remaniées, ou des colluvions,
- les variations d'épaisseur ou de perméabilité de cette formation "aquifère",
- la présence éventuelle d'un imperméable relatif et sa géométrie : le granite rocheux en général,
- la morphologie de la surface topographique (Figure 4).

La baisse estivale du niveau piézométrique dans l'aquifère provoque la diminution progressive du débit de la source (captée ou non), voire son tarissement complet.

Beaucoup de sources se présentent sous la forme de mouillères qui constituent des émergences diffuses et qui forment le plus souvent le début de ruisseaux.

L'émergence semble se produire le plus souvent à la base des altérites (ou de colluvions), à proximité du contact avec le granite rocheux. Celui-ci est souvent marqué par la présence de blocs de taille décimétrique à métrique de granite sain (Photo 15).

Dans les cas où la présence du granite à faible profondeur ne peut pas être suspectée (Photo 16), des conditions morphologiques peuvent être proposées pour expliquer la présence de l'émergence (rupture de pente par exemple). En l'absence d'éléments de ce type (Photo 17), des variations de la perméabilité de "l'aquifère" peuvent également être envisagées.

En tout état de cause, la faible perméabilité globale de l'ensemble granite - recouvrement explique le fait que le niveau piézométrique de la "nappe" soit toujours très proche de la surface du sol (Photo 18).

1.2. Les captages

Les captages constituent un moyen artificiel d'améliorer les conditions d'émergence des eaux souterraines ou de provoquer celle-ci en conjuguant les effets liés à la perméabilité de "l'aquifère" (mise en place de drains) et en augmentant le gradient piézométrique de l'aquifère (drains implantés le plus profondément possible sous le niveau piézométrique).

Le captage par drainage des zones de mouillères conduit souvent à une diminution importante voire une disparition totale du débit du ruisseau à l'aval du captage. La mouillère reste souvent marquée par une zone humide.

Dans certains cas, il est difficile d'identifier la présence d'une ancienne source. Le dispositif de drainage a éventuellement pu être mis en place sur un site où les eaux souterraines n'apparaissent pas de manière naturelle à la surface.

Dans de nombreux captages, du sable est présent en quantités notables dans le bac de réception. Ceci suggère une médiocre adéquation de l'ouverture des drains par rapport à la granulométrie de la formation captée ce qui peut conduire à terme à une dégradation des propriétés du captage.

Les drainages superficiels, de type agricole (Photo 18), permettent "d'assainir" les terrains et accessoirement d'abreuver le bétail. Les tranchées, d'environ 0.5 m de profondeur, drainent le sommet de l'aquifère.

1.3. Prises en rivière

Ces ouvrages permettent d'obtenir des débits d'exploitation importants. Plusieurs communes utilisent cette technique pour renforcer significativement les quantités d'eau disponible pour la distribution en eau potable (Sainte Eulalie, Saint Denis en Margeride). Toutefois un traitement "lourd" (décantation, filtration, etc.) est alors indispensable.

Certains ouvrages captent la nappe d'accompagnement de la rivière, à proximité immédiate de celle-ci (Photos 19 et 20).

La situation de ces ouvrages doit être soigneusement répertoriée afin de pouvoir en tenir compte lors de l'interprétation des jaugeages différentiels des sous-bassin versants de la Truyère.

2. PHYSICO-CHIMIE ET DÉBIT DES ÉMERGENCES

Le commentaire concerne les résultats des mesures de débit et de caractérisation physico-chimique de terrain réalisées sur les eaux de sources dans le cadre du stage : température, conductivité électrique, pH

2.1. Température

L'ensemble des mesures de température de l'eau (Figure 9) s'échelonne de 6°C (ouvrage n° 84, Malzieu Forain) à 20.3°C (ouvrage n° 46, Javols). Les valeurs les plus chaudes ont été relevées au niveau de fontaines, réservoirs et abreuvoirs, pour la plupart, et ont été considérées comme non représentatives de la température de l'eau au niveau de l'émergence.

Sur la figure 10, ces valeurs non significatives ont été supprimées. La température apparaît alors comme une fonction de l'altitude qui présente une tendance générale relativement linéaire. La courbe de tendance tracée à travers le nuage de points ($Z(m) = -34.63 T(^{\circ}C) + 1509.4 (m)$ ou encore $T(^{\circ}C) = -0.0289 Z + 43.58$) révèle une grande dispersion des valeurs ($R^2 = 0.3215$). Le gradient thermique calculé (2.89°C/100 m, calculé avec l'équation de la courbe de tendance) est nettement plus fort que les valeurs couramment admises (0.5 à 1°C par 100m). Par ailleurs, l'ordonnée à l'origine (43°C au "niveau de la mer") ne correspond pas au contexte climatique de la zone d'étude. Ces différences très significatives sont très probablement liées à la proximité du niveau piézométrique par rapport au sol qui doit induire, en été, un réchauffement de l'eau des captages les plus superficiels.

Il pourra être judicieux, dans le cadre d'une analyse plus poussée, de rechercher une éventuelle corrélation entre la température et la profondeur des drains.

2.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau au niveau des émergences s'échelonne de 14.1 à 225 $\mu\text{S/cm}$. Deux sources révèlent une valeur beaucoup plus forte :

- Combejouve (ouvrage n°190, Les Monts Verts), $\chi = 784 \mu\text{S/cm}$. Elle se situe dans un champ en pente moyenne où du granite est visible. L'eau est turbide mais aucun indice ne permet de déceler l'origine de cette conductivité électrique très élevée (pas de bétail ni de cultures en amont, absence d'algues, etc.).

- une fontaine au centre du village de La Garde (ouvrage n° 192, Albaret Ste Marie), $\chi = 519 \mu\text{S/cm}$.

Les valeurs de conductivité électrique les plus fortes ont été mesurées essentiellement au niveaux d'abreuvoirs et de fontaines (toutes les valeurs

supérieures à 107 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sauf les sources n° 64, Aumont, 129 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et n° 52, St Sauveur de Peyre. 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La présence de bétail à proximité de certains captages semble être à l'origine d'un apport de matières organiques et de minéraux dans les aquifères superficiels.

D'une manière générale, les conductivités électriques sont faibles ce qui est commun en contexte de socle.

La conductivité électrique semble varier avec l'altitude (Figure 11) avec une augmentation lorsque l'on tend vers les zones plus basses. Cette tendance est en accord avec le fait que les sources les plus basses en altitude produisent des eaux qui ont statistiquement séjourné plus longtemps au sein de l'aquifère et se sont ainsi un peu plus minéralisées. Ici encore, pour mener une analyse plus détaillée, ces valeurs de conductivité pourraient être comparées à la distance ou au différentiel d'altitude qui sépare le point de mesure de la crête du sous bassin versant concerné.

2.3. pH

Le pH au niveau des émergences d'eau souterraine est très nettement à tendance acide. ce qui, là aussi, est commun en contexte de socle (Figure 12). Il est compris entre 3.87 et 6.71. Toutefois, seules deux mesures sont inférieures à 5 :

- source Combe Talade 1 (ouvrage n° 26b, St Denis en Margeride), pH = 3.87. Elle se situe à 1250 m d'altitude, dans une clairière en pente faible entourée de résineux. Du granite affleurant est visible ainsi que des arènes.

Cet ouvrage constitue un point de jonction entre les eaux issues de la source Malbertes (ouvrage n° 5, pH = 5.47), de la source Combe Talade 2 (ouvrage n° 26a, non mesurée), situées en amont, ainsi que d'un troisième drain captant des eaux à proximité qui présente lui ce pH très faible. Dans la mesure où il ne s'agit pas d'une erreur de transcription (la valeur a été vérifiée sur le terrain) ni d'un problème d'étalonnage (les mesures antérieures et postérieures sont "normales"), il est probable que cette faible valeur soit liée à la présence des résineux,

- source Charbonnel (ouvrage n° 42, Malzieu Forain), pH = 4.75. Elle se situe à 1225 m d'altitude au milieu d'une forêt dense de feuillus. A l'origine, elle émergeait sous un bloc de granite, au contact d'une couche argileuse. Une galerie drainante visitable a été aménagée. Elle reçoit également les eaux issues de la source du pâturage du Croizat (ouvrage n° 43, Malzieu Forain), pH = 5.77.

Le pH ne montre pas de relation avec l'altitude des émergences (Figure 12). Un nuage de points entoure une valeur moyenne de l'ordre de 5.27 unités pH.

Quatre sources présentent un pH en accord avec la norme de distribution pour l'alimentation en eau potable ($6.5 < \text{pH} < 9$) :

St Gal, ouvrage n° 153, pH 6.53
Ste Eulalie, ouvrage n° 33, pH 6.54
St Alban, ouvrage n° 20, pH 6.71
Malbouzon, ouvrage n° 53, pH 6.55.

Ce paramètre peut être corrigé au niveau des réservoirs par addition de chaux. En outre, lors de leur transport, les eaux ont tendance à voir leur pH augmenter légèrement (aération). Une analyse ne prenant en considération que les mesures réalisées aux émergences donnerait probablement une valeur moyenne de pH légèrement plus faible.

2.4. Débit

Les débits mesurés s'échelonnent de 0 à 16.7 m³/h. Certaines émergences étaient en effet tarées lors des visites.

Logiquement dans le cas de sources de socle, le débit moyen des émergences est relativement faible (0.8 m³/h). Il ne montre pas de tendance particulière avec l'altitude (Figure 13).

Une estimation de l'erreur sur la mesure de débit, en fonction du récipient utilisé et du débit jaugé, est présentée en annexe 13.

Quelques rares captages présentent un débit supérieur à 5 m³/h :

- ouvrage n° 61, La Chaze de Peyre (16,7 m³/h). Le débit a, dans ce cas, été estimé, à la date de la visite, par un employé chargé de la maintenance des ouvrages car l'arrivée de l'eau dans la chambre de réception était inaccessible.

- ouvrage n° 86, Malzieu Forain (8,9 m³/h).

3. PHYSICO-CHIMIE ET DEBIT DES EAUX SUPERFICIELLES

3.1. Physico-chimie des eaux superficielles

Logiquement, les eaux de surface, influencées par les conditions atmosphériques, présentent une température plus élevée que celle des émergences. La température augmente en outre lorsque l'on s'éloigne des têtes de bassin versant.

Les conductivités électriques sont dans la même gamme de valeur que celle des sources. Sur le bassin de la Rimeize, les eaux très colorées observées sont vraisemblablement dues à la présence de tourbières en amont.

Les eaux des rivières présentent un pH nettement supérieur à celui des sources ce qui traduit l'effet de neutralisation induit par l'aération.

3.2. Mesures de débit

3.2.1. Jaugeages chimiques

Les résultats des jaugeages chimiques ne peuvent nous donner qu'un ordre de grandeur du débit du cours d'eau jaugé. En effet, seules les conductivités ont été relevées et la relation entre la conductivité et la concentration en sel n'est pas linéaire (annexe 10).

De plus, de par la morphologie des cours d'eau (très sinueux, avec souvent de longues touffes d'algues fixées sur des bancs de sable), la distance entre le point d'injection du traceur et le point de mesures n'a pu excéder 30 m. Cela peut être la cause d'un mauvais mélange du traceur (annexe jointe : Le Malzieu Forain : tronçon F1 pour lequel l'essai n°2 révèle la présence d'un double sommet; Les Laubies : tronçon G2, essais 1 et 2).

La réalisation de deux jaugeages chimiques successifs sur chacun des sites de mesure permet de juger de la qualité de la méthode mise en œuvre. Les deux valeurs recueillies concordent d'une manière générale relativement bien (Les Laubies : tronçon G3, St Denis en Margeride : tronçon G5). Certaines courbes montrent que la totalité de la restitution n'a pas été observée, ce qui conduit à une surestimation du débit, estimée à environ 5% par extrapolation des courbes de restitution (Le Salacrux : tronçon G3).

Les jaugeages chimiques sur le site de Belamy (Mézère, section G2) ne sont pas satisfaisants. Le cours d'eau présente des débits trop élevés (plus de 100 l/s), manifestement en dehors de la gamme de validité de l'essai mis en œuvre.

Pour utiliser cette méthode dans de meilleures conditions il faudrait :

- préparer des sachets de sel prépesés (après passage à l'étuve afin d'éliminer toute trace d'humidité),
- adapter le mieux possible la quantité de sel introduite à la taille du cours d'eau de façon à obtenir une variation de conductivité suffisante,
- établir une courbe d'étalonnage $[\text{sel}] = f(\chi)$.

Cette méthode pourrait être modifiée en utilisant un fluorimètre de terrain (permettant l'obtention de mesures en continu), avec la sulfo-rhodamine ou l'uranine comme traceur.

3.2.2. Les jaugeages différentiels

La figure 14 présente la localisation des sites de mesures de débit. Certains éléments peuvent être mis en évidence :

- La Limagnole (16/07/98) :

Une perte de 8 l/s est observée entre les sections B1 et B2. Elle correspond à une erreur de 10 % sur la mesure.

Le gain de 29 l/s entre les sections B2 et B3 est du à l'apport de plusieurs affluents (dont celui jaugé en B4).

Aucun apport n'est décelé entre les sections B3 et A. Pour cette dernière section, deux jaugeages, distants de quelques mètres, ont été effectués. Les résultats diffèrent de 15 l/s ce qui correspond à une variation sur la mesure de l'ordre de 15%.

Entre les sections A et B5, un apport de 81 l/s est observé. Il provient, pour une part, du Guitard (section C5 jaugé le 23/07/98), et d'autre part d'un affluent en rive droite aval.

- Le Guitard (23/07/98) :

Entre les sections C1 et C3, un apport de 5 l/s est mis en évidence. Aucun affluent n'étant présent, il peut s'agir de la contribution des versants.

Malgré l'apport du Chardenoux (section C2), une perte de 39 l/s est observée entre les sections C3 et C4. Si l'on ne tient pas compte de cette valeur, il subsiste tout de même une perte de 18 l/s entre les sections C3 et C5. La concordance de ces 2 pertes minimise la possibilité d'une mauvaise manipulation. L'existence d'un prélèvement entre les sections C3 et C4 peut être envisagée, puis l'apport de petits affluents augmenterait le débit jusqu'à la section C5. Toutefois le parcours de la zone, ainsi qu'une enquête auprès des riverains de villages proches, n'a pas permis de vérifier cette hypothèse.

Il existe un captage en rivière en aval de la section C3 (n° ouvrage : 29). Il renforce, en cas de besoin, les prélèvements effectués au niveau du captage en rivière de Ste Eulalie (n° ouvrage : 199) pour l'alimentation en eau potable de

St Alban sur Limagnole et Fontans. A la date des jaugeages, aucun prélèvement n'était effectué à ce niveau (information venant de l'agent de la CGE responsable de la maintenance du réseau, M. MICHEL, St Chely d'Apcher).

De nouvelles mesures paraissent nécessaires afin de mieux comprendre le fonctionnement de ce cours d'eau.

- La Rimeize (31/07/98) :

Un apport de 44 l/s est mis en évidence entre les sections D1+D2 et D3. La présence d'un affluent important en rive gauche (La Rivayre), entre ces deux points de mesure, est à noter.

Entre les sections D3 et D4, un apport de 47 l/s est observé. Il provient en partie du Riou Fresch (rive droite) sur lequel un barrage (500m³ de retenue) a été édifié afin d'effectuer des prélèvements pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Aumont-Aubrac (syndicat d'Aumont-Aubrac - La Chaze de Peyre - Javols).

En aval de la section D4, le Ruisseau des Rivières apporte 28 l/s.

- Le Chapouillet (06/08/98) :

Le débit jaugé au niveau de la section E1 correspond à la somme des débits jaugés au niveau des sections E3, E4, E5 et E6 ainsi qu'à un apport supplémentaire de 28 l/s.

Au niveau de la Rimeize (section E2), le débit jaugé est supérieur de 21 l/s à la somme des débits jaugés sur la Rimeize (au niveau des sections D4 et D5, le 31/07/98) et sur le Chapouillet (section E1). Un tarissement des cours d'eau entre les deux journées de jaugeages est possible. Ce point est à vérifier.

- Le Galastre (11/08/98) :

Un apport de 22 l/s est mis en évidence entre les sections F1 et F3. Il est en partie du ruisseau de Boisserolle où un jaugeage chimique a été effectué (tronçon F2). Une perte de 18 l/s est observée entre les sections F3 et F5 malgré les apports de deux affluents (tronçons F4 et F6). Ce point est à vérifier.

- Le Mézère (20/08/98) :

Les tronçons G3, G4, G5 et G6 ont été jaugés avec la méthode chimique. La somme des débits (qui ne donne qu'un ordre de grandeur pour les raisons citées plus haut) est inférieure au débit jaugé en aval (section G2) à l'aide du Nautilus. Ceci peut être dû au captage en bordure du Mézère situé en amont de la section G2 (n° ouvrage : 7).

Entre les sections G2 et G1, un apport de 7 l/s a été observé.

Les données recueillies seront critiquées et mises en regard de la superficie des sous bassins versants concernés et des autres données disponibles (sites de prélèvement ou de rejet, stations limnigraphiques, données météorologiques etc.). Il a été conseillé de relever les mesures de débits au niveau des stations limnigraphiques de la DIREN et de EDF (annexe 14) le jour même des jaugeages de façon à obtenir des mesures aussi précises que possible. Les anomalies de mesures pourront alors mieux être cernées ainsi que la productivité des aquifères.

Conclusion

Ce stage, réalisé du 22 Juillet au 09 Septembre 1998 au BRGM, m'a permis d'intervenir au sein du projet "Ressources en eau Margeride Ouest".

Il a consisté en une phase de préparation d'une campagne de mesures de terrain, la mise en œuvre de celle-ci et une première synthèse et critique sommaire des données recueillies, présentées au sein de ce rapport.

Cela m'a permis de me familiariser avec l'hydrogéologie des régions de socle et les méthodes d'études de ces contextes particuliers,

- d'organiser la campagne de terrain : logistique, représentativité des mesures afin de couvrir de manière homogène le bassin versant concerné,
- de manipuler et mettre en œuvre sur le terrain divers appareillages et outils : conductivimètre, pHmètre, Nautilus, GPS, etc. de mesure et de procéder au dépouillement des données recueillies.

Les campagnes de terrain devant se poursuivre au cours de l'étiage 1999, toutes les informations ont été reportées avec soin pour permettre la vérification de données douteuses, la visite de captages non trouvés ou qui n'ont pu être ouverts.

Toutes les démarches et protocoles expérimentaux ont été détaillés de façon à faciliter la campagne suivante et permettre une reproductibilité des conditions de travail.

BIBLIOGRAPHIE

BRL (1997).- Rationalisation de la desserte en eau potable, bassin versant de la Truyère.- 3 tomes.

BRUEL Th. (1998).- Identification et analyse des réseaux de fractures sur le bassin versant lozérien de la Truyère et mise en relation avec les états de contraintes actuelles.- Université Montpellier II. Laboratoire de Géophysique et Tectonique.

DAUM J.R. (1994).- Méthodologie du jaugeage des sources.- Rapport BRGM R 38183.

Direction Régionale de l'Environnement Languedoc-Roussillon (1993).- Observation des sources du socle du cristallin.- Mise en place, premières observations, pratique des mesures.

LACHASSAGNE P., BERARD P., DESPRATS J.F., DUPUY A., IZAC J.L. (1998, à paraître).- Rapport de fin de première phase du projet "Ressource en Eau Margeride Ouest".

LE STRAT P. (1998).- Synthèse géologique du bassin versant lozérien de la Truyère.- Rapport BRGM n° R40222.

LE STRAT P. (1998).- PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en eau Margeride Ouest. Légende de la carte de synthèse du bassin versant lozérien de la Truyère. Echelle à 1/100.000.- Rapport BRGM n°R.40223.

PANTEL J.(1992).- Influence des paramètres du milieu physique sur l'hydrodynamique des nappes d'altérites (exemple de la Lozère).- Université Montpellier II.- Rapport de DEA.

Proceedings from IAH Symposium on hard rock hydrogeology, WINDISCHESCHENBACH- 28-30/10/98.

Société du canal de Provence (1998).- Ressources en eau Margeride Ouest. Analyse des données et propositions pour l'élaboration d'un schéma directeur.

WYNS R. (1998).- Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur) des arènes granitiques du bassin versant lozérien de la Truyère (Lozère, Massif Central).- Rapport BRGM n° R40191.

FIGURES

Figure 9 : Température de l'eau des sources en fonction de l'altitude

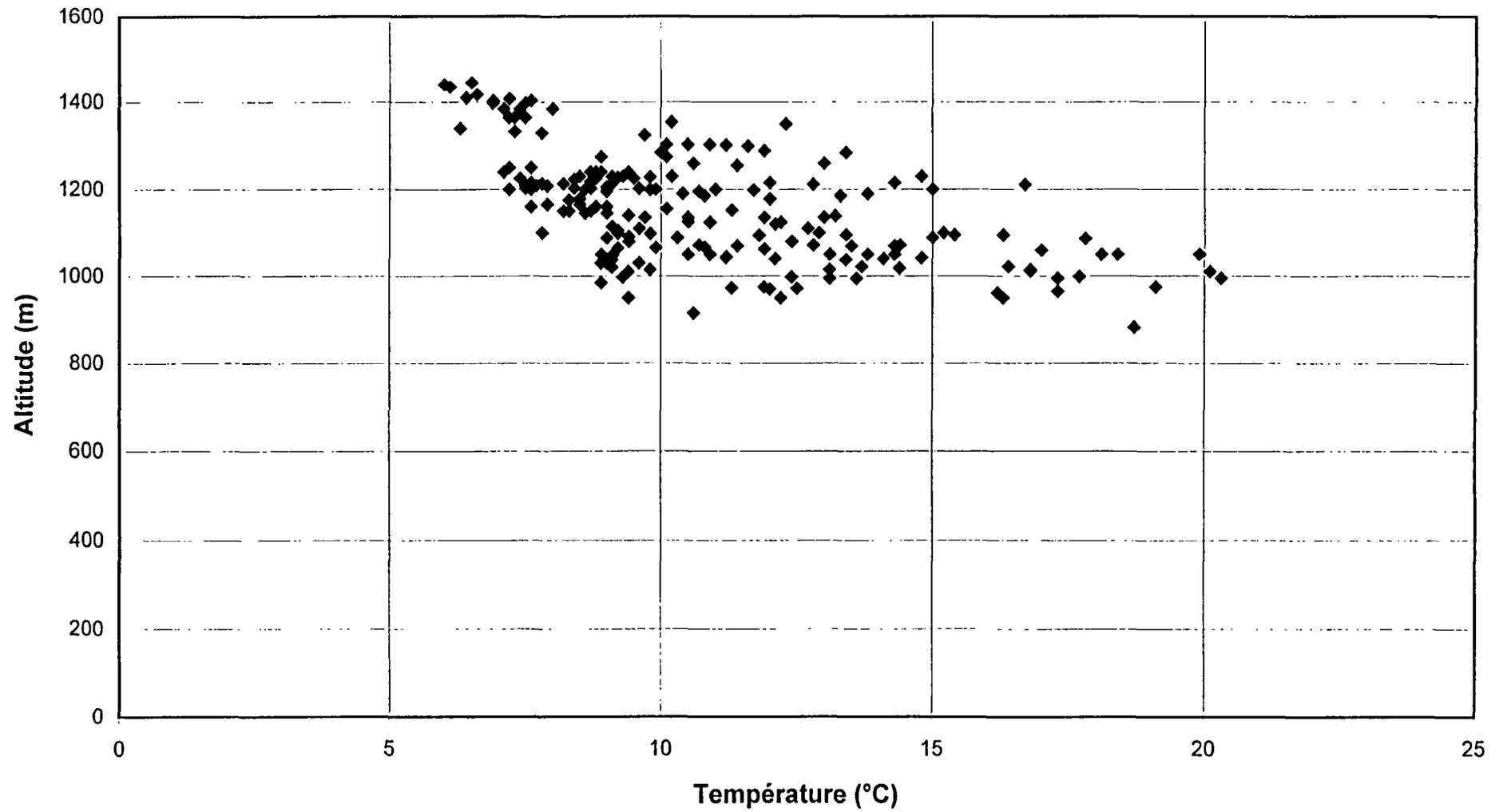


Figure 10 : Température de l'eau des sources en fonction de l'altitude
Non comprises : Mesures réalisées en aval de l'émergence

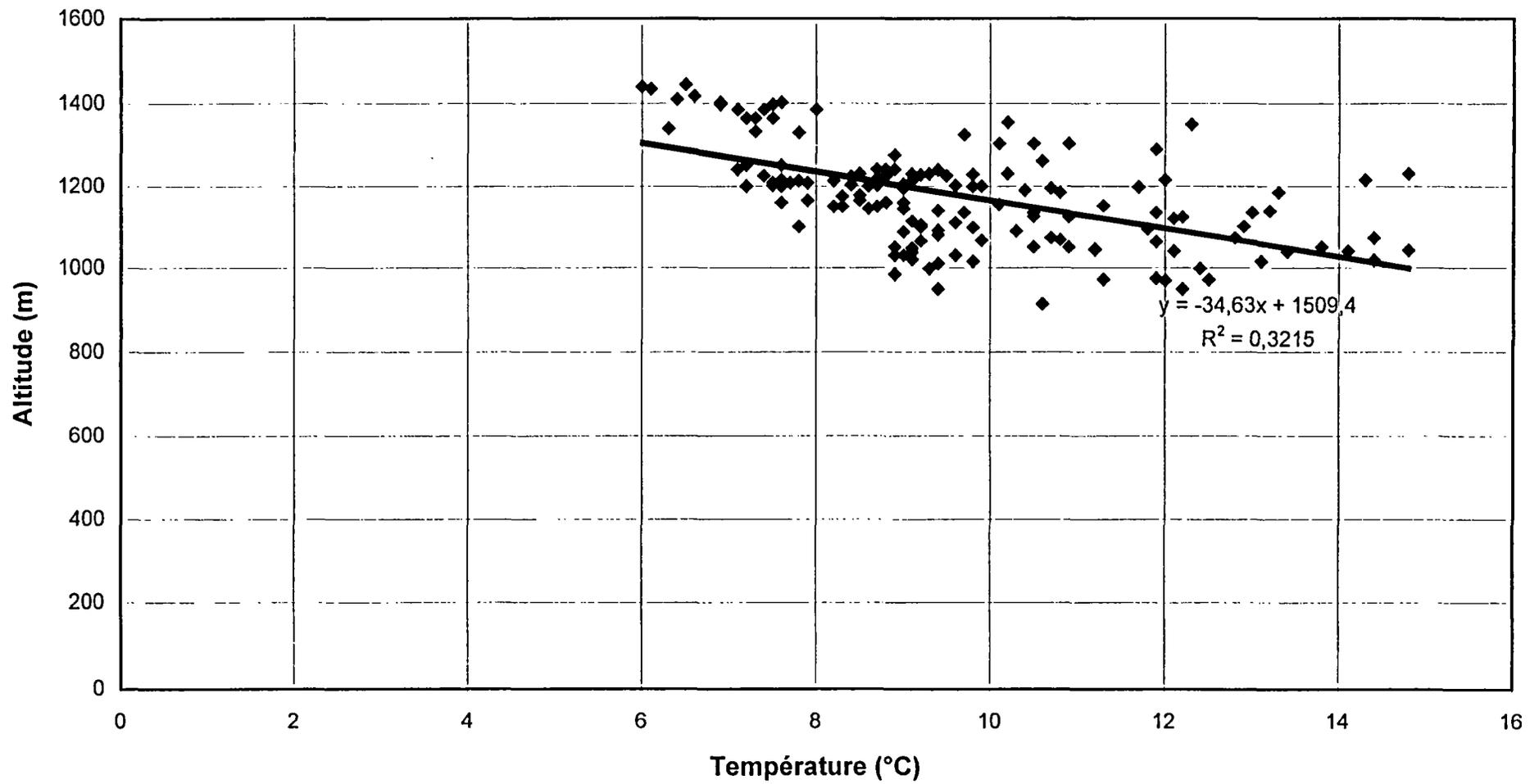


Figure 11 : Conductivité de l'eau des sources en fonction de l'altitude

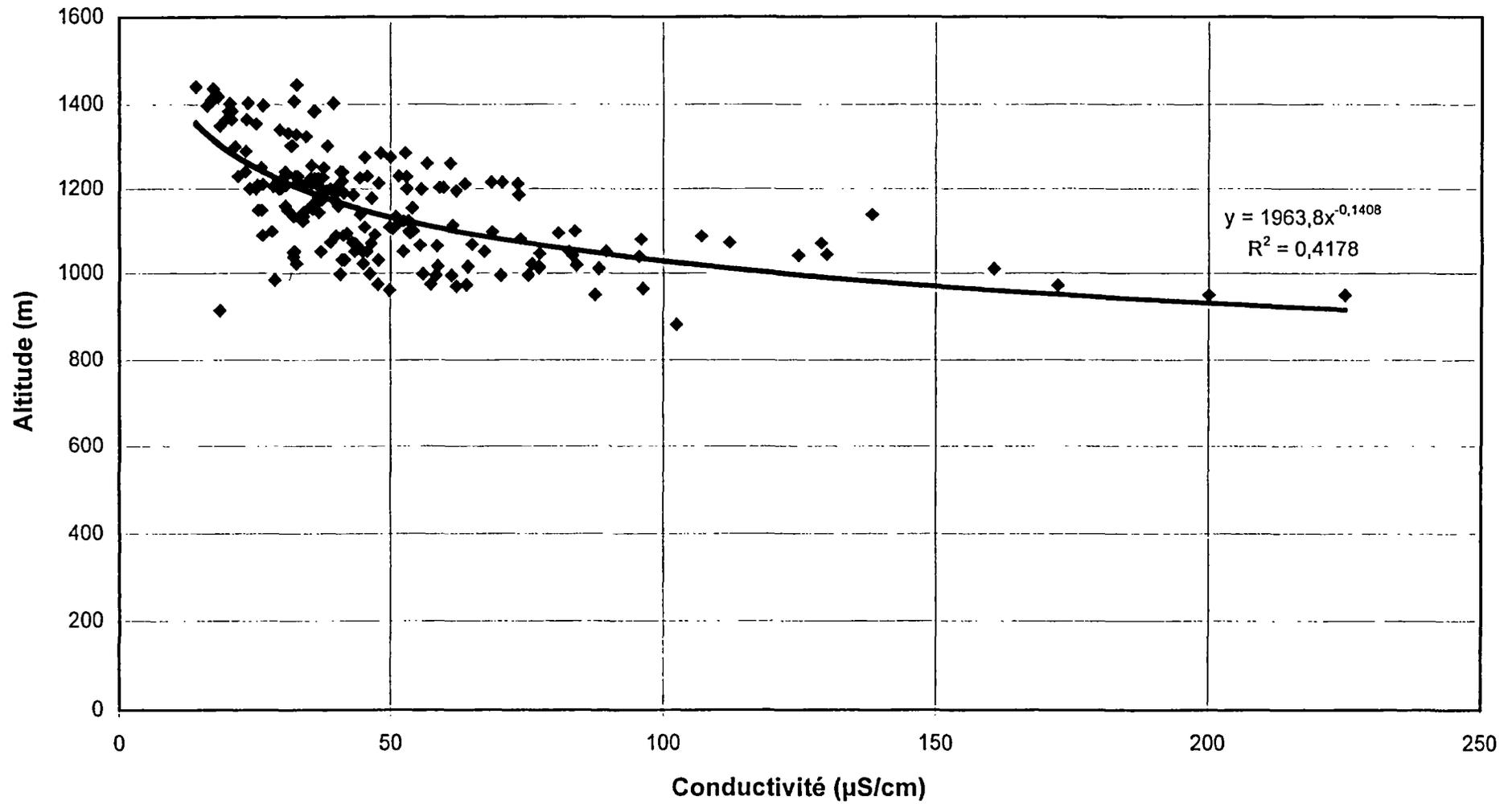


Figure 12 : pH de l'eau des sources en fonction de l'altitude

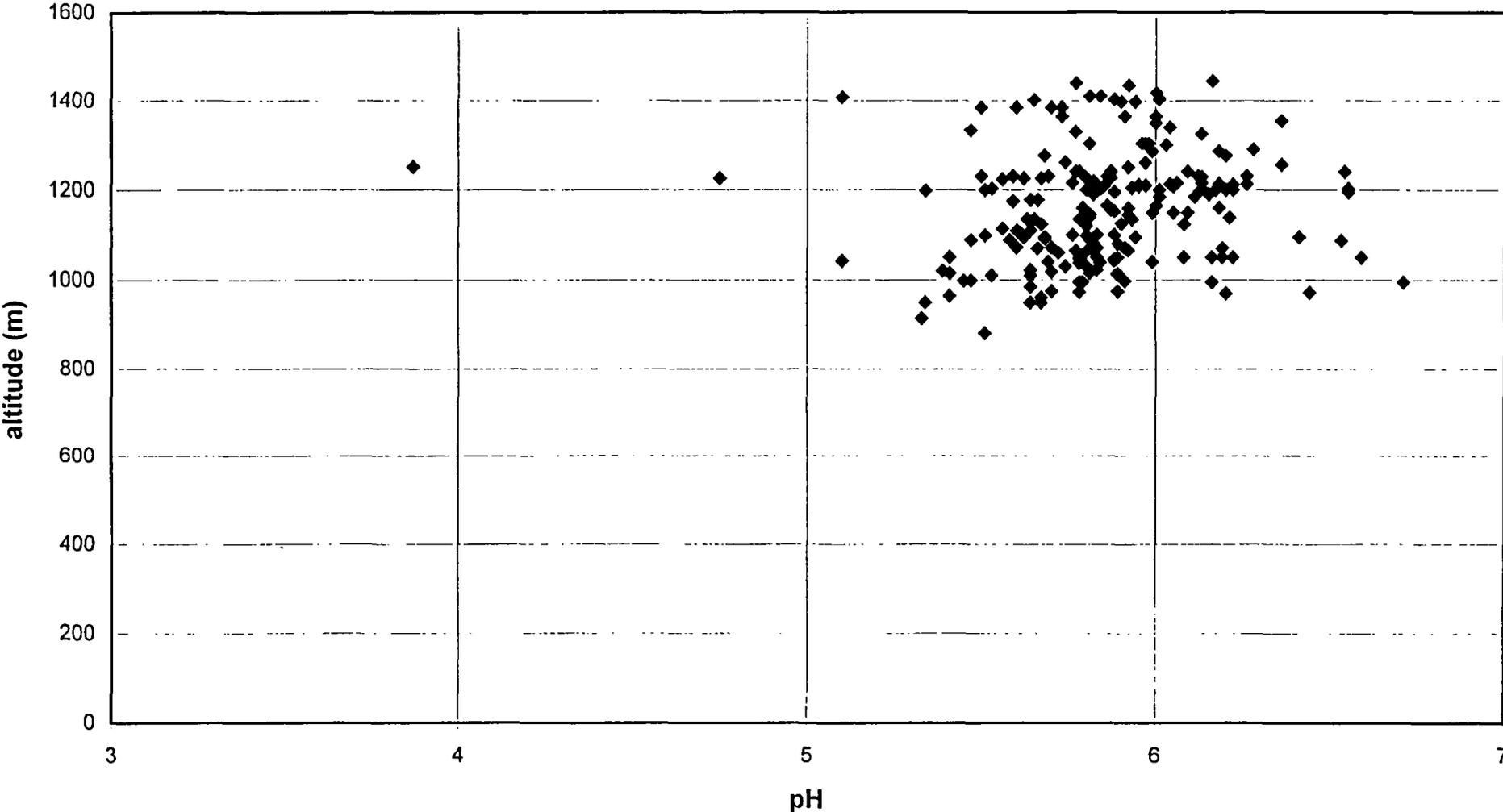


Figure 13 : Débit des sources en fonction de l'altitude

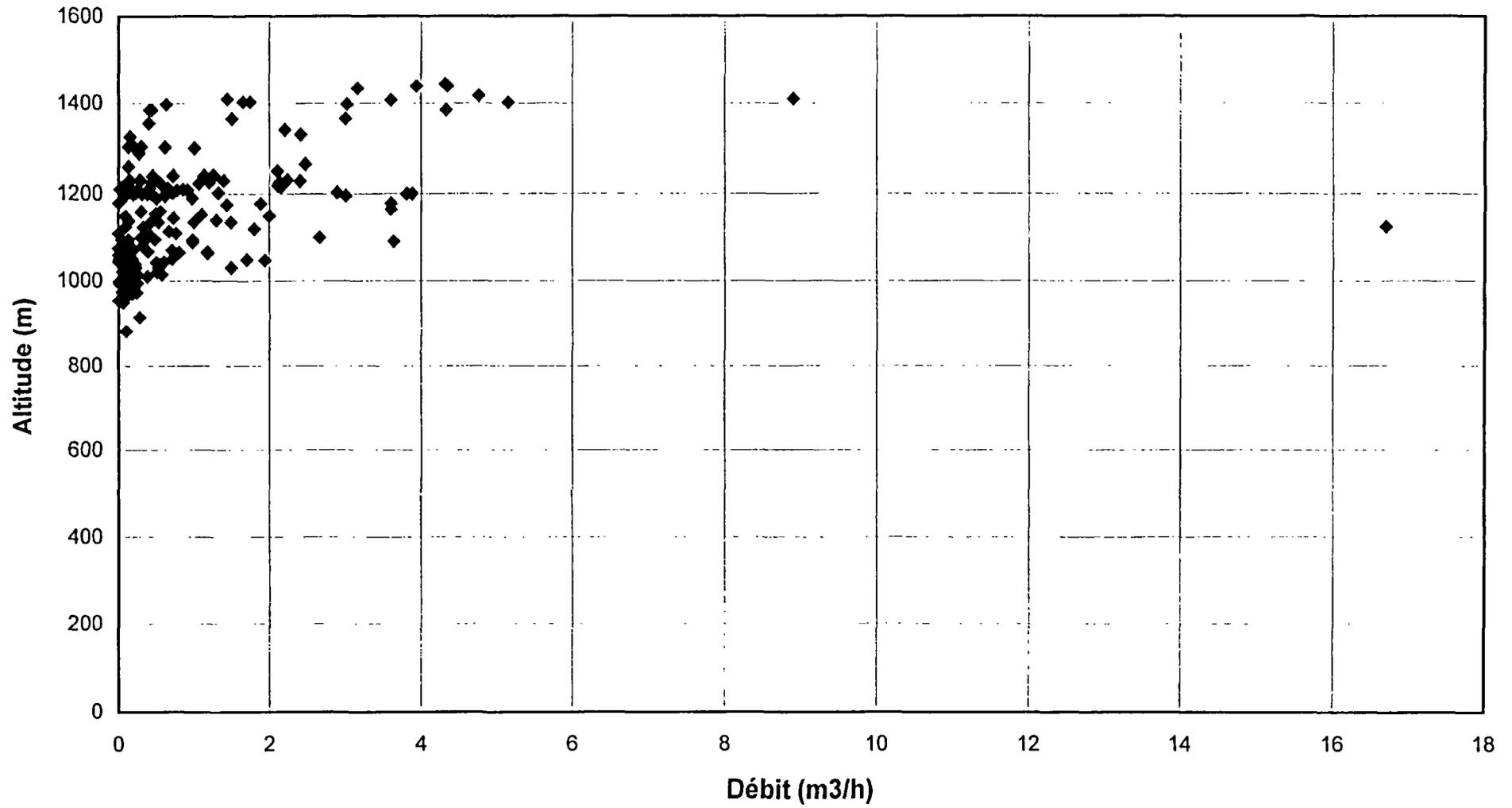




Figure 14 : Jaugeages différentiels des cours d'eau (débit : m³/s)

PHOTOS



Photo 1
St Sauveur de Peyre
ouvrage n°88



Photo 2
Ste Colombe de Peyre
ouvrage n°99



Photo 3
St Sauveur de Peyre
ouvrage n°89



Photo 4 : Fau de Peyre, ouvrage n°115

Photo 5 : St Sauveur de Peyre, ouvrage n°91



Photo 6 : Le Malzieu Forain, ouvrage n°76



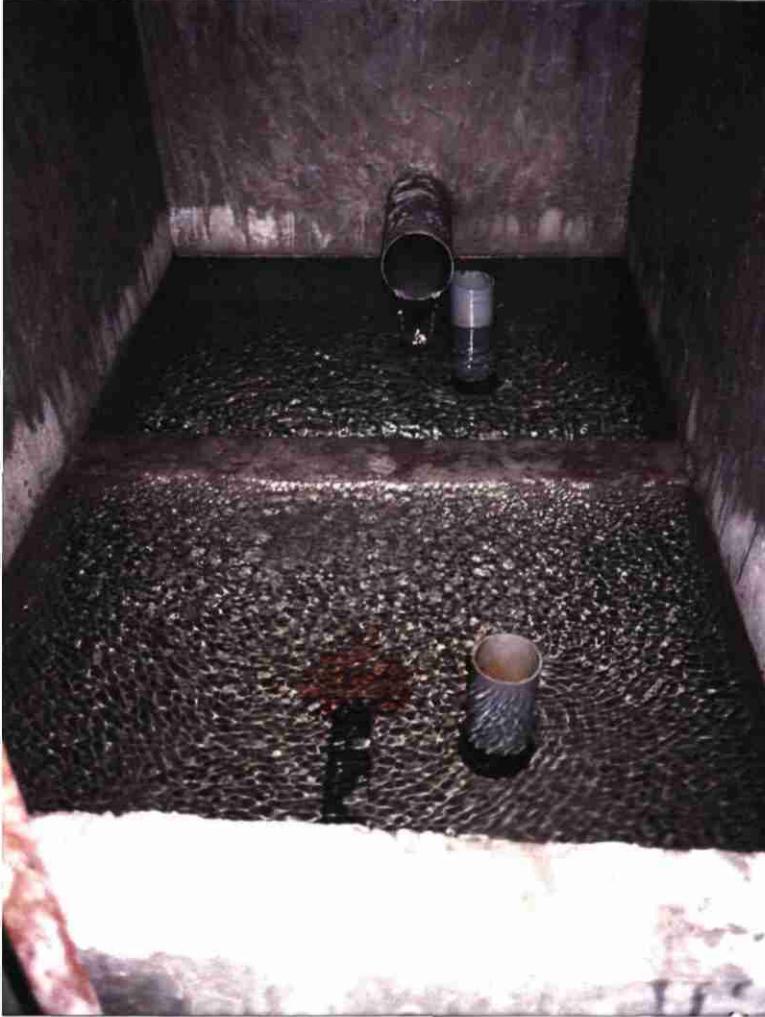


Photo 7 : Ste Colombe de Peyre, ouvrage n°103

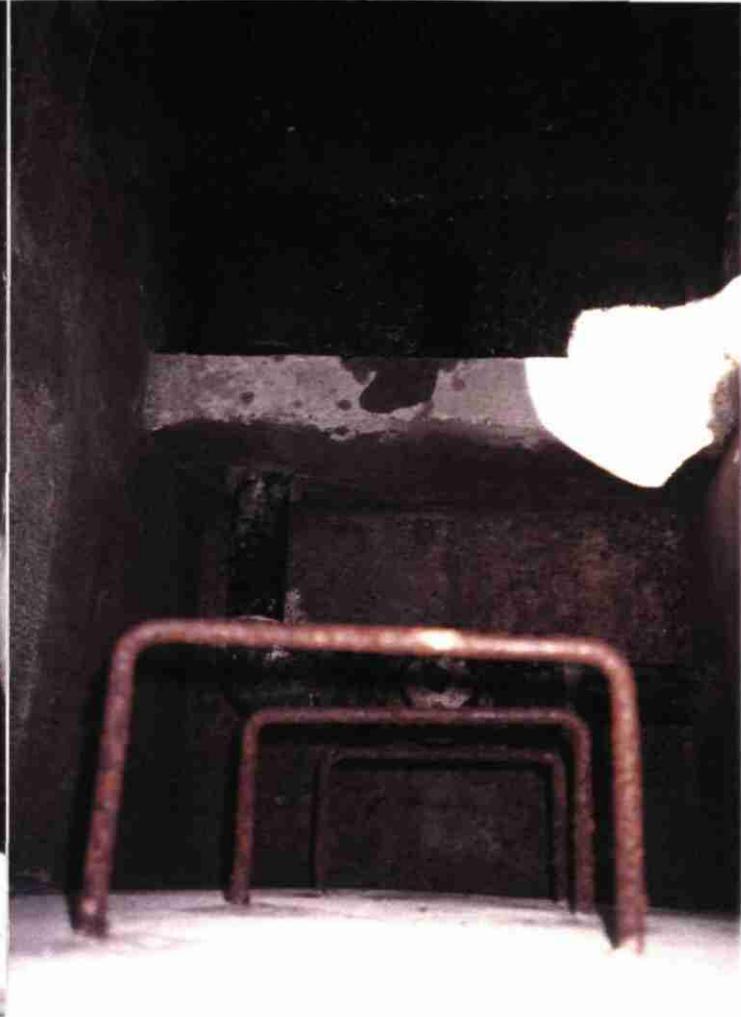


Photo 8 : La Fage St Julien, ouvrage n°112

Photo 9 : St Alban sur Limagnole, ouvrage n°134

Photo 10 : Ste Colombe de Peyre, ouvrage n°187

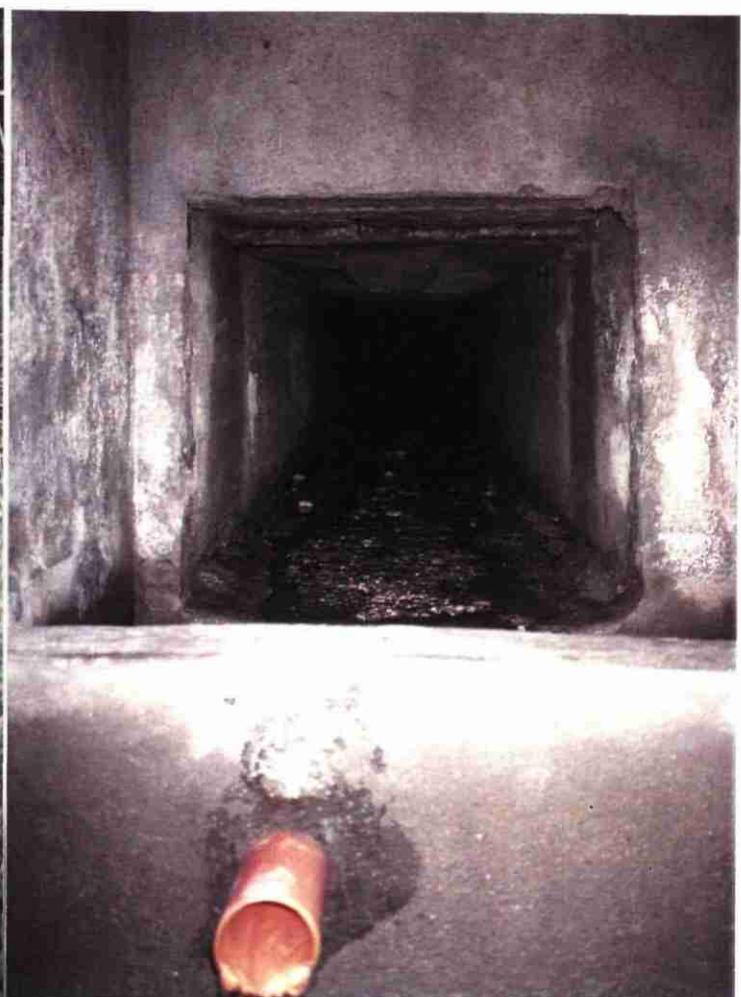




Photo 11 : St Pierre le Vieux, ouvrage n°72



Photo 12
Les Laubies
source n°161



Photo 13
Cours d'eau en Margeride



Photo 14
La Fage St Julien
ouvrage n°184



Photo 15
La Fage St Julien
ouvrage n°183



Photo 16
Ste Colombe de Peyre
ouvrage n°72



Photo 17
Rimeize
ouvrage n°173



Photo 18
Prinsuéjols
ouvrage n°101



Photos 19, 20
Les Laubies
ouvrage n°7

ANNEXES

ANNEXE 1

Méthodologie de prospection des aquifères de socle couplant émanométrie radon et géophysique.

(Proceedings from IAH Symposium on hard rock hydrogeology,
WINDISCHESENBACH- 28-30/10/98)

COUPLING RADON EMANOMETRY AND GEOPHYSICS FOR HIGH FLOWRATE BOREHOLE IMPLEMENTATION IN HARDROCK AQUIFERS UNDER HUMID TROPICAL CLIMATE

LACHASSAGNE PATRICK*, RAMPNOUX NICOLAS**

* BRGM/Direction de la Recherche - Département Hydrologie, Géochimie et Transferts
1039, Rue de Pinville, F-34000 Montpellier - Tel : (33)-4 67 15 79 73 - Fax : (33)-4 67 15 79 75
E-mail : p.lachassagne@brgm.fr

** BRGM/Guyane
Domaine de Suzini, Route de Montabo, BP 552, F-97333 Cayenne Cédex, Guyane française
Tel : (594)-30 06 24 - Fax : (594)-31 49 07. E-mail : n.rampnoux@brgm.fr

SUMMARY

The methodology of « radon emanometry » has been developed and scientifically validated in the late 80's for the localization of permeable discontinuities in basement rocks under temperate and dry tropical climates. New experimental data sets have been acquired under humid tropical climate in crystalline rocks with a thick weathered cover (French Guyana).

Coherent results have been obtained and have been validated by drilling. They show the interest of integrating radon emanometry within a three stages methodology for water well siting : first, localization of a few square kilometre prospection zone ; second, radon survey to exhaustively locate the radon anomalies and third, precise siting of boreholes with resistivity profiling performed over the most promising radon anomalies.

KEY WORDS

Groundwater, Hard Rock aquifer, weathered rocks, radon, resistivity profiling, French Guyana

1. INTRODUCTION

The methodology of « radon emanometry », initially derived from Uranium ore exploration techniques, has been developed and scientifically validated in the late 80's for the localization of permeable discontinuities in basement rocks (GUERIN, 1991 ; DAVID, 1992) and thus for the siting of water wells in such a geological context. This methodology has first been found efficient for geothermal and thermo-mineral water exploration and then for « cold water » applications, both under temperate (France) and dry tropical (Burkina Faso) climates (POINTET, 1992).

New experimental data sets have been recently acquired (LACHASSAGNE et al, 1997a and b) under humid tropical climate in crystalline rocks with a thick regolith cover (10th of meters) in French Guyana. In fact, this European region, belonging to the Amazonian area, has sanitary problems related to water supply. Because settlements are often located far away from any road (access only by dugout boat), adequate treatment of surface water is technically and economically not feasible. Most villages that have to be supplied require « high flowrate » water wells, which means, in hard rock geological setting, long term productivity at least 5 m³/h (200 m³/j). This research programme was then initiated through a joint CEE - France - Guyana Region project, aiming to assess groundwater resource in the Guyana shield and to propose efficient methodologies for water well siting in such a context.

2. RADON EMANOMETRY

Radon is the only known radioactive gas (half life 3.82 day). Thus, it doesn't accumulate in the ground and it can easily be measured. Then, radon emanometry is a quite simple, two stages, technique :

1. sampling of soil gases is performed with a manual device constituted by a sampling metallic tube, flexible tubing, a special reactive flask and a manual vacuum pump (Figure 1),
2. radon content analysis is performed daily, on the field the camp, by placing the flasks into a scintillometer. This small size device can work with a portable generating set.

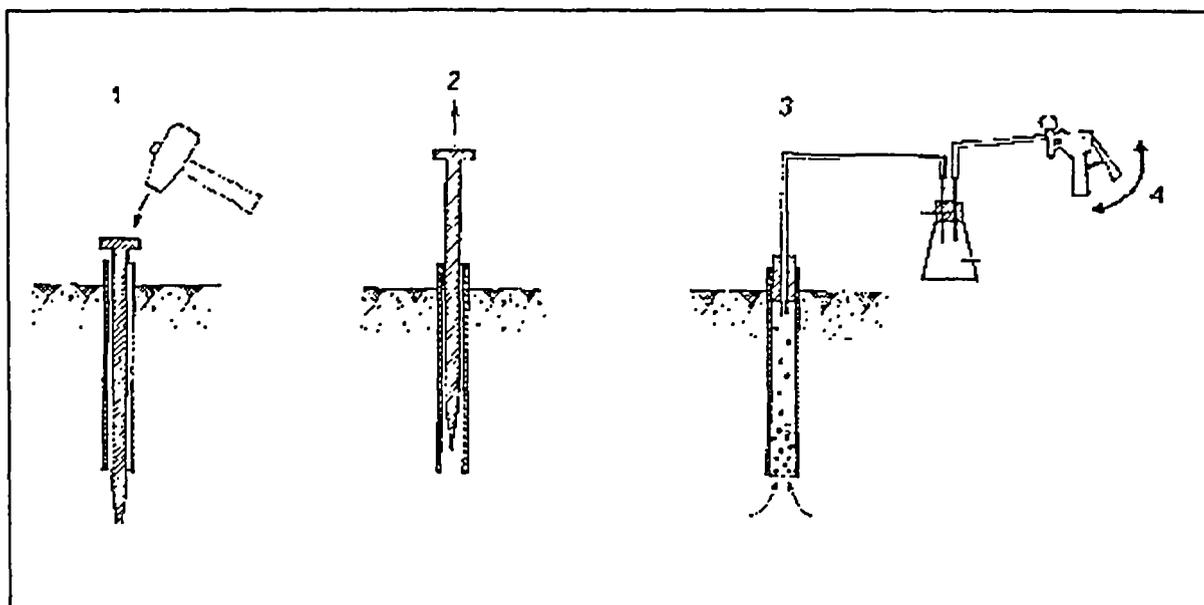


Figure 1 : Sampling of soil gases

The sampling mesh corresponds to a square of 75 to 100 m side size which covers, as exhaustively as possible, the prospected area. The mesh must be as regular as possible to perform good interpolation in order to draw accurate « radon map ». At the end of each sampling day, flasks content is analysed which allows to draw preliminary radon content maps. Then, the sampling mesh can be refined wherever radon anomalies are detected. Stations of reference are sampled daily to verify the stability of the radon signal.

After interpolation and contouring, radon anomaly maps (Figure 2) are inferred from such surveys.

3. INTEGRATION OF RADON EMANOMETRY IN AN HYDROGEOLOGICAL SURVEY

In the framework of the research project held in French Guyana, the radon emanometry technique has been integrated in a three stages downscaling methodology (LACHASSAGNE, RAMPNOUX, 1998). This methodology allows a changing in scale, from the cartographic one to the precision necessary for an accurate water well siting :

1. Localization of the prospection zone : the first stage of the methodology is designed to delimit a few square kilometre zones (2 to 3 or 4 km²) on various criterion : technico-economical, geological, fractures setting (remote sensing delineation, actual tectonic stresses, etc.), etc.. In Guyana, technico-economical factors (ie vicinity of the village) are often the most important criterion. In a new research programme concerning Lozère Department (France), hard rock groundwater potentialities maps are designed at this

AMERICAINS -Activites radon (pCi/l)

-Anomalies radon (pCi/l)

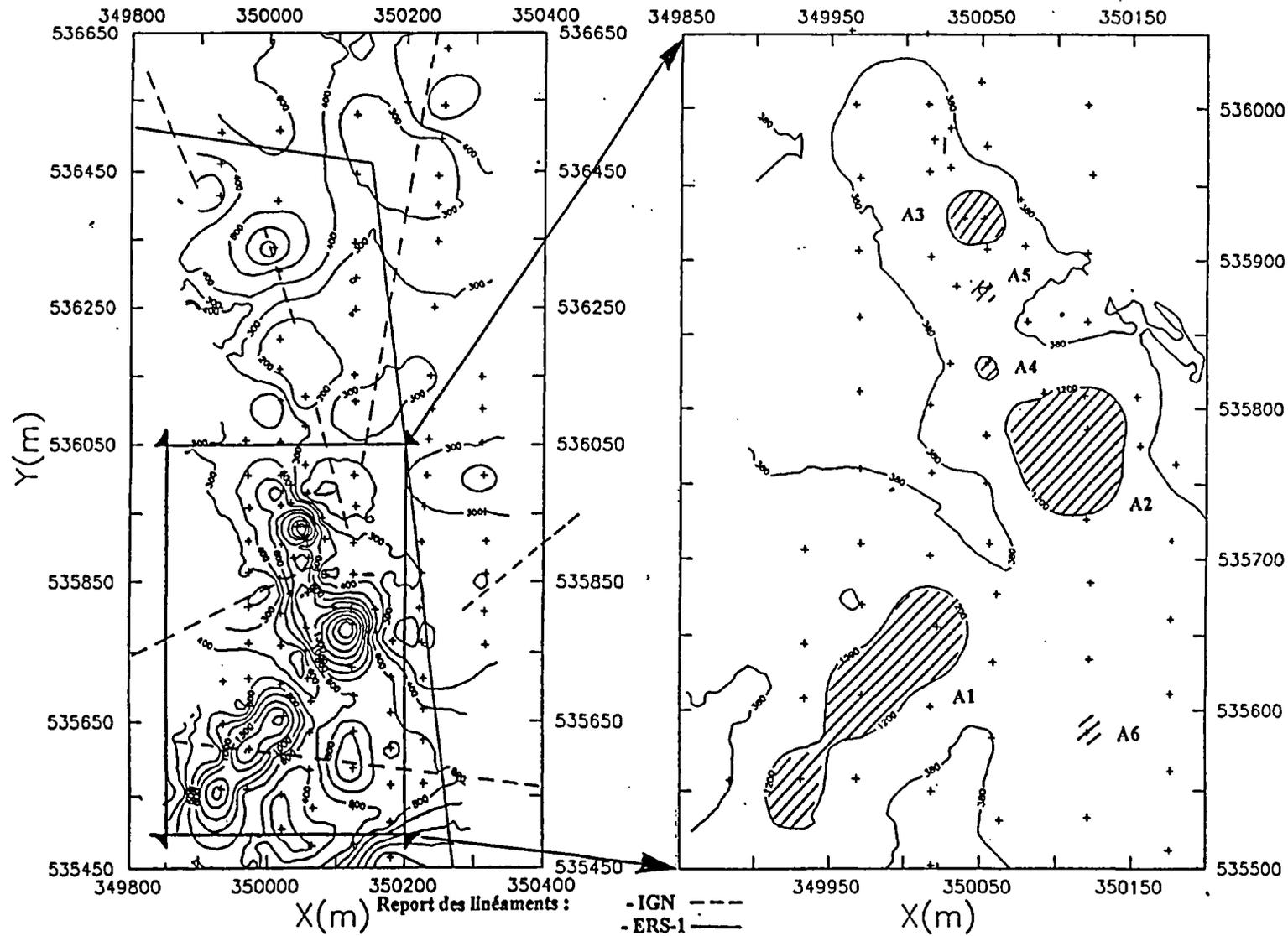


Figure 2 : Exemple of a radon anomaly map, Matoury Américains place, French Guyana (left) with zoom on the main anomaly area (right). Units : X, Y : meters ; radon unit : pico (10^{-9}) Curie per litre

stage, by cartographic information (weathered bedrock thickness, slope, lithology of bedrock, fractures and orientation of fractures, etc.) crossing through GIS (LACHASSAGNE et al., 1998),

2. Radon survey is then performed, as described in §2., in order to exhaustively localize the anomalies,
3. The third stage consists in geophysics : resistivity soundings (for profiling calibration) and then resistivity profiling are performed only on the most promising radon anomalies (that means anomalies with a fracturation looking shape and a high and well structured signal). Figure 2 shows such an anomaly, on an experimental site near Cayenne, which orientation is in good accordance with fracturation data. Resistivity profiling provides relatively precise information (with # 10 meters precision) for exploration well siting.

4. RESULTS OBTAINED IN FRENCH GUYANA

Seven radon survey have already been performed in French Guyana.

They showed that a significant radon signal can relatively easily been acquired by taking a few precautions (concerning essentially meteorology and above all pluviosity influence). Most of significant radon anomalies (Figure 2) are 200 to 300 m long and 50 to 75 m wide (thus, the choice of the sampling mesh is inferred from this experience). This quite large width of the anomalies id thought to be due to diffusion effect in relation with the thickness of the weathered bedrock, anomalies are quite wide. That means that, in such a context, the third stage of the methodology (geophysics stage) is very important for a good wells siting. Nevertheless, resistivity profiling can be only focused on radon anomalies (this is an important factor in forested areas like Guyana where geophysical profiling implies quite costly brushwood cleaning). In addition resistivity profiles can be accurately setup, perpendicularly to the structural anisotropy of the underlying fractures. This enables a better quality of the resistivity signal (Figure 3).

These experimental works show the interest of integrating radon emanometry within a more classical well siting strategy.

In addition, radon emanometry is well adapted to the context of tropical humid countries :

- the sampling and analysis devices are light ; they can easily be transported by taxi plane or dugout boat,
 - sampling can be performed by a technician and an unskilled worker, the later being hired in the village.
- Depending on field conditions, 20 to 40 samples can be collected each day. This is leading to an approximately 4 to 5 days duration survey by site or village,
- sampling doesn't imply important costly brushwood cleaning and thus both decreases the geophysics costs and increases its efficiency.

Experimental surveys are actually performed in order to explain the origin of radon through such a thick low permeability cover (the weathered bedrock is mainly clayey). These experiments are based both on radon time series analysis and on other soil gases measurements (PINAULT, BAUBRON, 1997). The first results suggest that, due to its short life time, the measured radon is produced in the soil (at least at a few meter depth). It moves upward by diffusion effect. Radon anomalies seems to be due to disturbance of this diffusion by advective flux of other gases (CO₂, methane, helium ?) that have them a deep origin.

Figure 3 : Example of resistivity profiling performed perpendicularly to a radon anomaly (Grand Santi, French Guyana). The anomaly, quite wide in this example, extends from X = 80 to X = 230 m. The two wells drilled at x = 120 m and X = 190 m provide respectively 8.5 and 9 m³/h (as determined by 48 h pumping test).

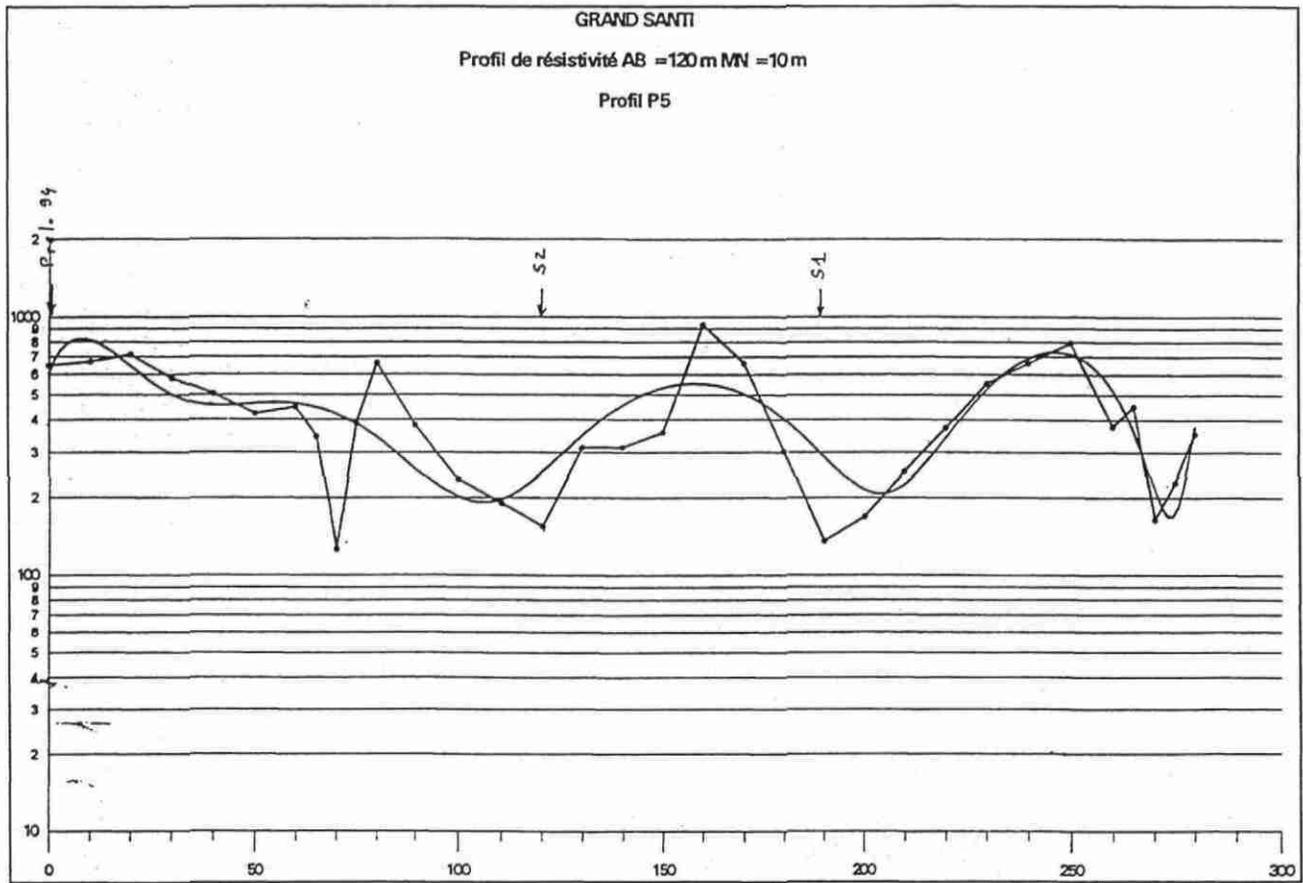
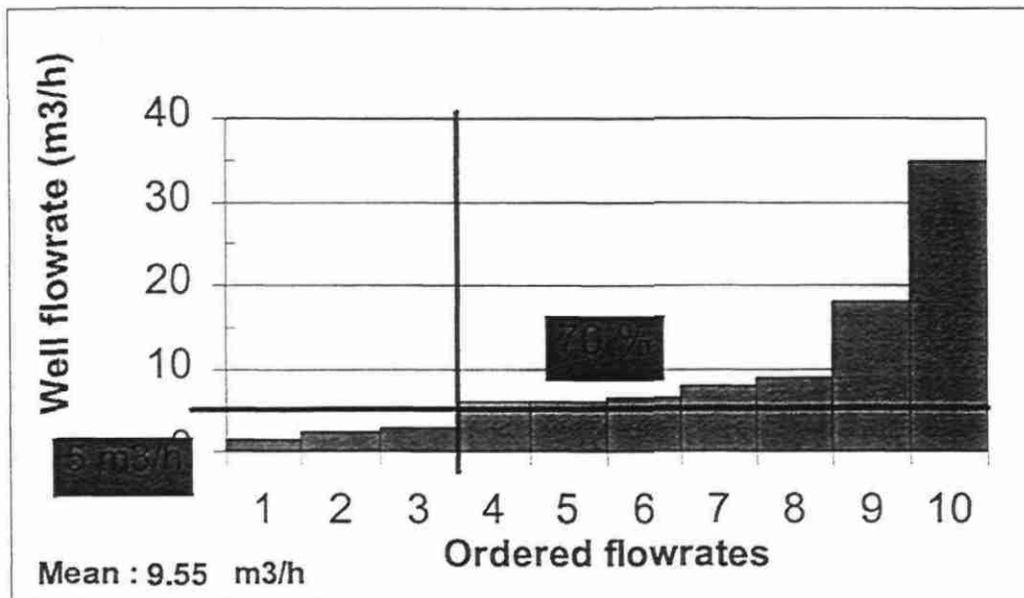


Figure 4 : First results obtained in French Guyana



5. FIRST RESULTS

The 10 first wells being drilled so far in Hard Rock aquifers in French Guyana, by using the methodology presented in this paper, show quite good results (Figure 4) : about two third of the wells provide long term (as determined by 48 hours pumping tests) yields that are over 5 m³/h.

REFERENCES

- DAVID A. (1992).- Influence des paramètres hydroclimatologiques sur les déplacements verticaux du radon-222 en zone non saturée.- Ph-D Thesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1992.- *Documents du BRGM n°236, 1995.*
- GUERIN F. (1991).- Production et mécanismes de migration du radon-222 dans les milieux fissurés : application à la recherche des discontinuités perméables du socle cristallin.- Ph-D Thesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1991.- *Documents du BRGM n°242, 1995.*
- LACHASSAGNE P., BERARD P., CHERY L., DESPRATS J.F., DUPUY A., LE STRAT P., WYNS R. (1998).- Ressources en Eau de la Margeride Ouest. Bassin de la Truyère. Carte préliminaire des potentialités en eau souterraine du socle.- Conseil Général de la Lozère, Agence de l'Eau Adour Garonne.- *BRGM Report to be published (09/98).*
- LACHASSAGNE P., RAMPNOUX N. (1998).- A three stages methodology, coupling radon emanometry and resistivity profiling, for large production rate water well siting in crystalline and volcanic hardrock aquifers, under humid tropical climate.- To be submitted to *Groundwater, 1998.*
- LACHASSAGNE P., CASTAING C., NEGREL Ph., RAMPNOUX N. (1997a).- Villages des fleuves de Guyane. Hydrogéologie du socle fracturé. Mise au point de méthodologies de prospection, exploitation et gestion des aquifères. Rapport d'avancement au 31 décembre 1996.- Conseil des Communautés Economiques Européennes, Conseil Régional Guyane, BRGM.- *Rapport BRGM R 39310.*
- LACHASSAGNE P., LAPORTE P., RAMPNOUX N. (1997b).- Ile de Cayenne (Guyane). Hydrogéologie du socle fracturé. Mise au point de méthodologies de prospection, exploitation et gestion des aquifères. Rapport d'avancement au 31 décembre 1996.- Conseil des Communautés Economiques Européennes, Conseil Régional Guyane, BRGM.- *Rapport BRGM R 39311.*
- PINAULT J.L., BAUBRON J.L. (1997).- Signal processing of diurnal and semi-diurnal variations in radon and atmospheric pressure : a new tool for accurate in situ measurements of soil gas velocity, pressure gradient, and tortuosity.- *Journal of Geophysical Research, VOL. 102, NO. B8, PAGES 18,101-18,120, AUGUST 10, 1997.*
- POINTET Th. (1992).- L'eau des granites. Synthèse de l'étude d'exploitabilité des eaux souterraines en zone de socle au Burkina Faso.- *Rapport BRGM R33576.*

ANNEXE 2

Matériel de terrain

	Sources	Nautilus	Chimique	Observation
Jumelles**	×			si nécessaire
GPS	×	×	×	si nécessaire
Boussole	×			si nécessaire
Cartes topographiques IGN 1/100.000 : 49, 50, 58 1/25.000 2536E, 2537E 2636O, 2636E 2637O, 2637E 2638O, 2638E	×	×	×	celle correspondant au secteur d'étude
Gants de protection	×			guêpes et vipères parfois sous les capots
Sécateur	×	×	×	
Tournevis	×			
Pince multiprise	×			
Pince universelle	×			
Clé à pipe : 13 17 19*	×			parfois utile parfois utile très souvent utile
Croix de St André** (clé à pipe 17, 19, 21, 23)	×			peut remplacer clé à pipe de 19
Pied de biche*	×			quand capot colmaté
Dégrippant	×			
Corde 5 m	×			collecter l'eau si on ne peut descendre
Lampe de poche**	×			très utile
Décamètre	×	×	×	mesure prof. captage et largeur sections
Pelle de camping		×	×	aménagement section
Bécher 500 ml	×			jaugeage petits débits
Seau 5 l	×		×	jaugeage gros débits
Seau 10 l			×	jaugeage gros débits, préparation marqueur
Chronomètre	×		×	
Collecteur PVC	×			jaugeage sources non captées
Nautilus+perches+fiches		×		
Sel			×	
Fluorescéine*			×	vérif. bon mélange, temps de passage
pH mètre	×	×	×	
Solutions étalon				dans le véhicule
Eau déminéralisée				dans le véhicule
Conductivimètre	×	×	×	
Chiffons	×	×	×	
Papier torchon				dans le véhicule
Poches plastique	×	×	×	
Piles	×	×	×	peut toujours servir
Bottes**		×	×	
Wadders**		×	×	
Trousse de secours**	×	×	×	
Aspivenin	×	×	×	
Coordonnées maires				
Carte téléphonique				
Ordinateur portable				

*non acheté

**personnel

ANNEXE 3											
Planification des différentes périodes du stage											
JUIN		Activité	JUILLET		Activité	AOUT		Activité	SEPTEMBRE		Activité
Lundi	1		Mercredi	1	P	Samedi	1		Mardi	1	R
Mardi	2		Jeudi	2	P	Dimanche	2		Mercredi	2	R
Mercredi	3		Vendredi	3	P	Lundi	3	P	Jeudi	3	R
Jeudi	4		Samedi	4		Mardi	4	T	Vendredi	4	R
Vendredi	5		Dimanche	5		Mercredi	5	T	Samedi	5	
Samedi	6		Lundi	6	P	Jeudi	6	T	Dimanche	6	
Dimanche	7		Mardi	7	P	Vendredi	7	T	Lundi	7	R
Lundi	8		Mercredi	8	P	Samedi	8		Mardi	8	R
Mardi	9		Jeudi	9	P	Dimanche	9		Mercredi	9	fin du stage
Mercredi	10		Vendredi	10	P	Lundi	10	P	Jeudi	10	
Jeudi	11		Samedi	11		Mardi	11	T	Vendredi	11	
Vendredi	12		Dimanche	12		Mercredi	12	T	Samedi	12	
Samedi	13		Lundi	13	P	Jeudi	13	T	Dimanche	13	
Dimanche	14		Mardi	14	P	Vendredi	14	T	Lundi	14	
Lundi	15		Mercredi	15	T	Samedi	15		Mardi	15	
Mardi	16		Jeudi	16	T	Dimanche	16		Mercredi	16	
Mercredi	17		Vendredi	17	T	Lundi	17	T	Jeudi	17	
Jeudi	18		Samedi	18		Mardi	18	T	Vendredi	18	
Vendredi	19		Dimanche	19		Mercredi	19	T	Samedi	19	
Samedi	20		Lundi	20	P	Jeudi	20	P	Dimanche	20	
Dimanche	21		Mardi	21	T	Vendredi	21	P	Lundi	21	
Lundi	22	Début stage	Mercredi	22	T	Samedi	22		Mardi	22	
Mardi	23	P	Jeudi	23	T	Dimanche	23		Mercredi	23	
Mercredi	24	P	Vendredi	24	T	Lundi	24	T	Jeudi	24	
Jeudi	25	P	Samedi	25		Mardi	25	T	Vendredi	25	
Vendredi	26	P	Dimanche	26		Mercredi	26	T	Samedi	26	
Samedi	27		Lundi	27	P	Jeudi	27	T	Dimanche	27	
Dimanche	28		Mardi	28	T	Vendredi	28	R	Lundi	28	
Lundi	29	P	Mercredi	29	T	Samedi	29		Mardi	29	
Mardi	30	P	Jeudi	30	T	Dimanche	30		Mercredi	30	
			Vendredi	31	T	Lundi	31	R			
P	Préparation										
T	Terrain										
R	Rapport										

ANNEXE 4

Coordonnées des maires des communes concernées par les travaux

ANNEXE 5

Rapport explicatif de l'adduction d'eau potable à

St Gal, Grenaldès et Choisines.

Avril 1929.

Département
de la Lozère.

Adduction d'eau potable à St-Gal, Grenaldès & Choisières

Rapport explicatif.

Arrondissement

de Clonde

Commune
de St-Gal.

Exposé: Le projet d'adduction d'eau que nous avons l'honneur de présenter, est d'avis conformément au règlement Préfectoral du 1^{er} Octobre 1891 sur le service des travaux à effectuer pour le compte des Communes du Département de la Lozère.

Le chef-lieu de la Commune, St-Gal, qui compte 80 habitants, est à peu près complètement privé d'eau et en manque totalement pour abreuver ses bestiaux qui sont obligés de gagner la rivière de Fruygue, éloignée d'environ 1600 mètres.

Il n'y a en effet à St-Gal, que deux ou 3 puits dont le principal est à côté duimetière et qui en été tarissent, le reste du temps, l'eau est sale et saumâtre, il paraîtrait que la typhoïde y est assez fréquente.

Au village du Grenaldès c'est à peu près pareil.

Au Choisières, il existe plusieurs sources et les habitants sont moins déshérités, une source bonne et claire se trouve à 82 mètres seulement du village, son débit, de deux litres à la minute, peut permettre d'alimenter ce petit village, sans trop de dépenses.

St-Gal a dû acheter fort cher une source qui naît dans une pâturée de Madame Veuve Allanche et qui est distante de St-Gal d'environ 1179 mètres, qui ne tarit jamais et dont le débit actuel est d'environ 8 à 10 litres à la minute, mais ce débit tombe à 3 litres seulement par temps de forte sécheresse.

Il serait prévu pour St-Gal deux bonnes fontaines à jet discontinu, autant au Grenaldès et une à Choisières, toutes, sur l'altitude, environ 1100 mètres, inougelables,

Les eaux des sources ci-dessus ont été reconnues bonnes aux analyses et le géologue a fait son rapport et présenté ses observations qui sont toujours invariablement observées.

Un périmètre de protection d'un rayon de 8 à 10 mètres autour de la source de St-Gal et Grenaldès sera ménagé et clôturé, aucune culture ni engrais ni sera tolérés, quant à la source du Choisières qui naît

Dans le communal, le rayon de protection sera de 30 mètres, aux aspects Sud, Est et Ouest, toute culture et fumure étant interdite dans ce périmètre.

Un traité est intervenu entre la Commune et le sieur Mazel pour la source du Genaldès; Ce propriétaire fait abandon gratuit de la source au profit du Village, mais se réserve qu'il s'est établi une borne fontaine au droit de sa demeure, ce qui a causé une dépense supplémentaire dont il a dû tenir compte au devis ultérieur.

En ce qui concerne la pose de la conduite à 1^m.20 au dessous du sol, nous faisons remarquer que dans un terrain granitique comme celui de St-Bal, la gelée, de l'avis du maître et des membres de son conseil, ne descend jamais à une profondeur de 0^m.50, qu'ainsi, en tenant la conduite à 0^m.80, on ne court aucun risque de la gelée; qu'en surplus, on rencontre souvent la roche entre 0^m.80 et 0^m.90 au dessous du sol, surtout en suivant le chemin comme c'est ici le cas.

Il sera mis un robinet de vidange au point bas de la conduite de St-Bal et une ventouse au point haut pour l'évacuation de l'air.

Les trois villages, formant chacun une section, nous avons pensé qu'il y avait lieu de n'établir qu'un seul jet, ainsi permettant le coût pour chacun des sections.

Provenance et qualité
des matériaux.

Les moellons ordinaires et la pierre de taille seront un grès dur, choisis parmi les meilleurs blocs et les plus de grain, situés non loin des villages à desservir.

Toute la chaux sera hydraulique et proviendra des usines Pami de Lafarge au Beil ainsi que le ciment Portland.

La tuyauterie sera en fonte, du diamètre de 100 millimètres, à emboîtement et cordon et les joints au plomb de filane goudronnée et proviendront, ainsi que les bornes fontaines ^{des usines} de Sout à Mousron, Fumel, Brouneval ou Bayard.

Modes d'exécution
des travaux.

Les travaux devront commencer aussitôt après l'approbation de l'adjudication sur les ordres de l'architecte et être continués sans interruption pour être terminés dans les délais fixés.

La conduite une fois posée sera éprouvée à une pression hydraulique de 10 atmosphères et les lieux, notamment les chemins et les rues

renus en leur état primitif.

Mode d'évaluation
des travaux.

Pour nous baser sur l'évaluation des travaux et fournitures, nous avons tenu compte de l'évaluation des cours actuels des métaux et du prix de la journée des différents corps de métier, tenu compte du déplacement des ouvriers de l'art qui font absolument défaut à St-Hal et à ses environs; ceci aura toujours obligé de faire appel à la main d'œuvre du dehors, sauf pour les terrassements.

Le mode d'évaluation est le suivant:

Les terrassements et déblais de toute nature seront payés au mètre cube mesuré au vide;

Les maçonneries et bétons, au mètre cube;

La tuyauterie en fonte et en plomb, au mètre utile;

Les accessoires de la tuyauterie et les bornes fontaines à l'unité;

Le montant des travaux est le suivant:

Section de St-Hal	311592. ⁵⁰
de Grenaldes	13639. ⁸⁰
de Choisines	6623. ⁰⁰
Travaux en l'entreprise	54859. ⁸⁰
Somme à valoir pour imprévus, captage des sources et clôtures de protection	6110. ²⁰
Honoraires de l'architecte, environ	3000. ⁰⁰
Acquisition de la source à Mme veuve Allanche	7500. ⁰⁰
Rapports géologiques et analyses	730. ⁰⁰
Montant total du projet	72230. ⁰⁰

Conclusion.

En résumé, l'architecte soussigné, après avoir opéré le chaînage et le nivellement et s'être rendu compte du besoin urgent dans lequel se trouvent les sections intéressées, au point de vue de l'eau potable qui leur est indispensable, prie l'administration d'approuver au plus tôt le présent projet et de le soumettre au Paris mutuel pour obtenir sa subvention, la Commune de St-Hal étant bien pauvre sous tous les rapports.

Harwijol, le 20 Mars 1926

L'architecte

signé: Mejan

Pour Copie Conforme

Harwijol, le 20 avril 1929

L'architecte

Mejan

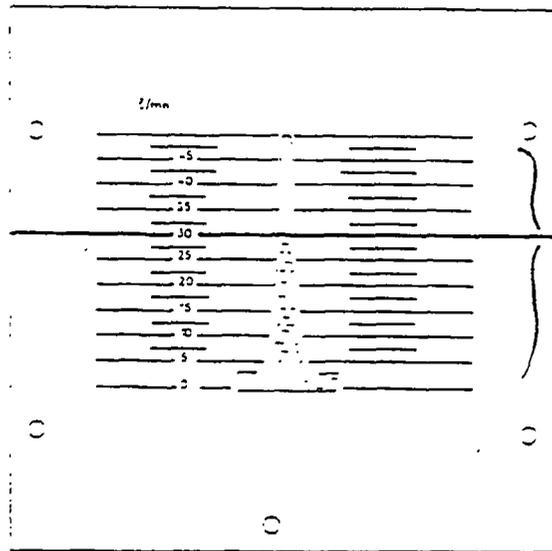
ANNEXE 6

Plaque de jaugeage de Morin

A. EQUIPEMENT DE LA SOURCE

■ La plaque de jaugeage

La source est équipée d'une plaque de MORN qui permet de mesurer le débit par simple lecture.



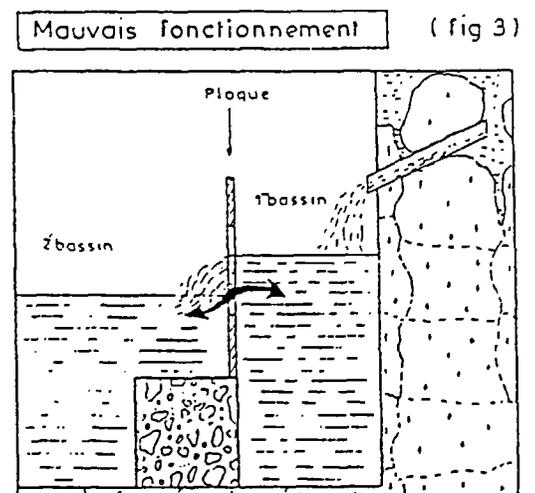
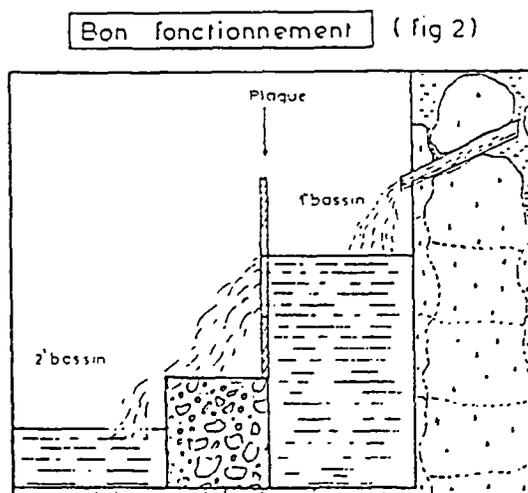
**CES GRADUATIONS INDIQUENT
LE DEBIT EN L/MN**

Figure 1 : Dans ce cas de figure, la source a un débit de 30 l/mn

La plaque est graduée de 0 à 50 l/mn ou de 0 à 35 l/mn.

■ Conditions de fonctionnement

- 1) Vérifier que le niveau de l'eau est suffisamment bas à la sortie de l'échancrure pour permettre un écoulement normal de l'eau (figure 2).



Dans le cas de la figure 3, il y a communication possible entre les deux bassins.

- 2) La plaque n'est pas faite pour mesurer les débits en charge. Il faut toujours qu'il y ait au moins quelques millimètres d'air entre l'eau et le sommet de l'échancrure.

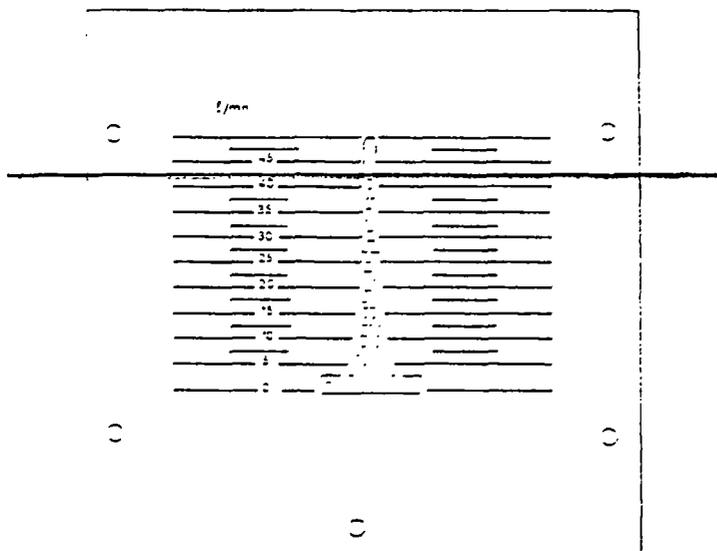


Figure 4 : le débit donné par la plaque est valable

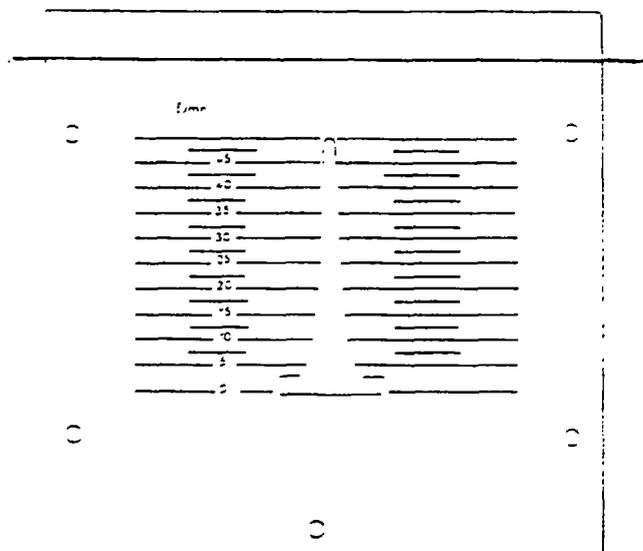


Figure 5 : le débit est trop fort pour la plaque
(on peut le mesurer au seau)

B. VERIFICATION DU DEBIT INDIQUE PAR LA PLAQUE

Il est nécessaire de vérifier la valeur du débit lue sur la plaque avec un seau et un chronomètre. La plaque n'est étalonnée correctement que si le débit lu sur la plaque est le même que celui mesuré.

En principe, le débit est égal à la hauteur en centimètres lue sur la plaque, multipliée par 5.

Exemple : 5 cm d'eau sur la plaque indiquent 25 l/minute.

Après avoir bien vérifié le volume du seau et la précision du chronomètre, il est possible que la plaque n'indique pas tout à fait le débit réel (mauvais façonnage de l'échancrure, plaque placée dans de mauvaises conditions de verticalité ou d'horizontalité, etc).

Dans ce cas, il convient de réétalonner la plaque.

■ Réétalonnage de la plaque

Quatre ou cinq mesures de débit à des niveaux différents permettent de réétalonner la plaque en faisant un tableau de correspondance.

Hauteur sur la plaque (en cm)	Débit indiqué H x 5 (en l/mn)	Débit mesuré avec un chronomètre et un seau par le fontainier (l/mn)	
		1er cas	2ème cas
4,6	23	23	20,7
3,6	18	18	16,2
3	15	15	13,5
2,4	12	12	10,8
7,6	38	38	34,2
8,4	42	42	37,8
8,4	42	42	37,8
		le débit indiqué est conforme	le débit indiqué est : $Q \text{ (l/mn)} = H(\text{cm}) \times 4,5$

Dans le deuxième cas, le fontainier devra multiplier la hauteur d'eau lue sur la plaque en centimètres par le coefficient 4,5.

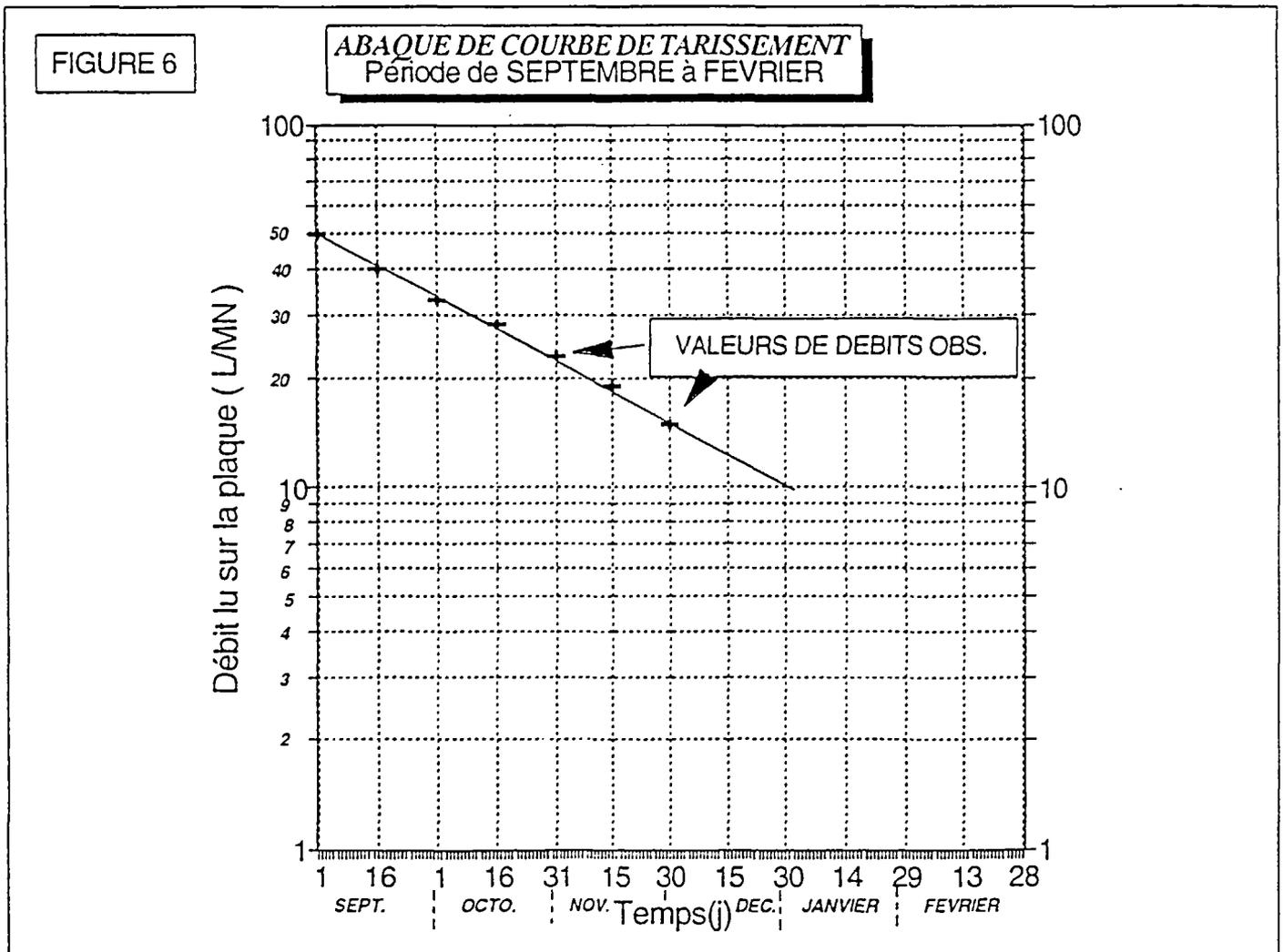
C. OBSERVATION DU DEBIT

Une fois la plaque étalonnée en période de sécheresse quand la plaque n'est plus en charge (figure 4), le fontainier note au moins une fois par semaine le débit lu sur la plaque (ou celui corrigé si nécessaire).

Mois	Jour	Débit lu sur la plaque	Débit corrigé éventuellement
Septembre	1	50	
	16	40	
Octobre	1	28	
	16	23	
	31	19	
Novembre	19	19	
	15	15	

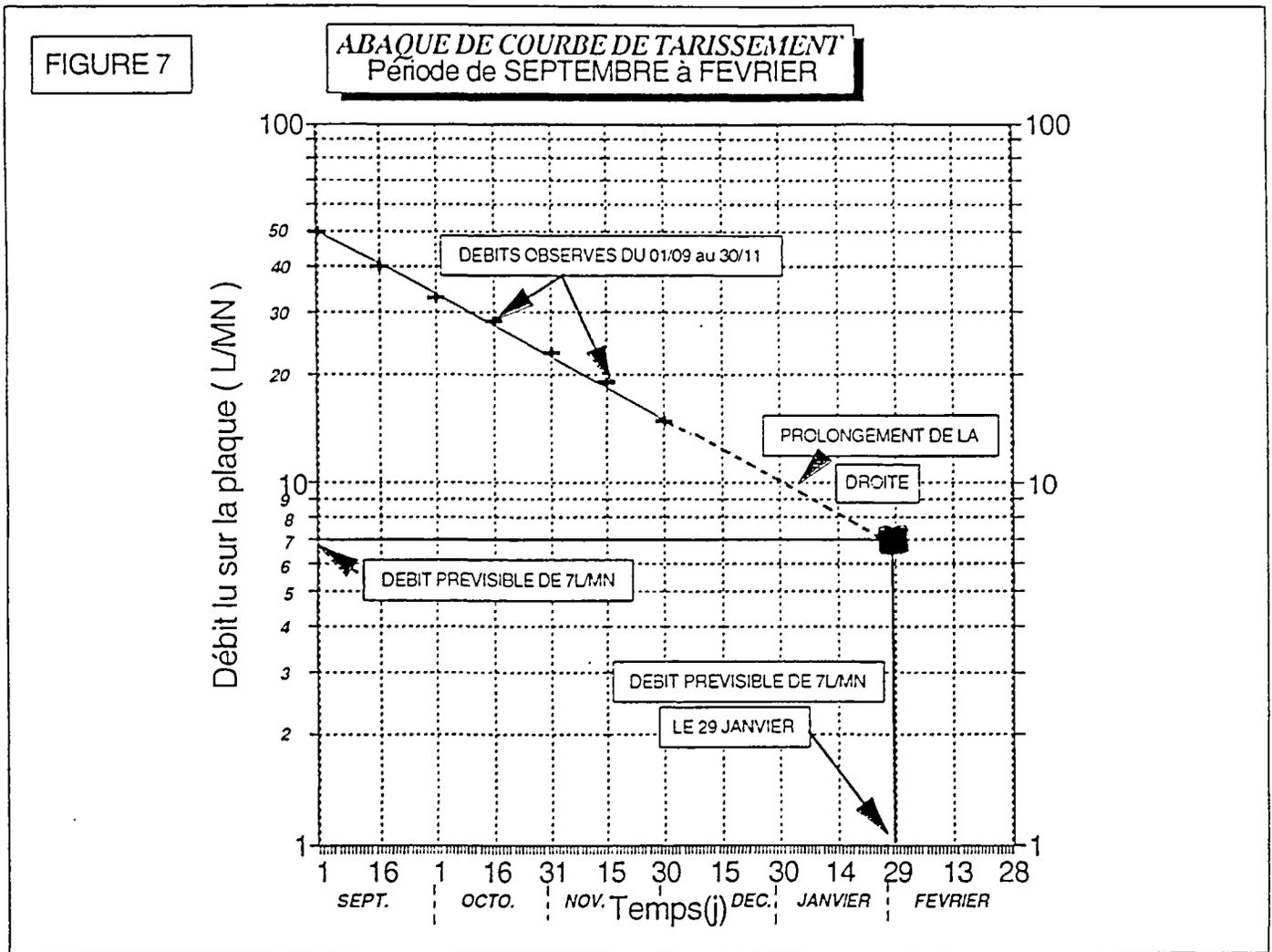
D. PREVISION DU DEBIT EN REGIME NON INFLUENCE PAR LA PLUIE

Sur la feuille de papier semi-logarithmique (ou abaque de courbe de tarissement) qui lui a été fournie, le fontainier porte les valeurs des débits à la date où il les a observés.



Dès que cinq ou six points sont alignés sur une droite, la source est en période de tarissement.

Il est alors possible de prolonger la droite et de prévoir les débits futurs s'il n'y a aucune chute de pluie entre temps.

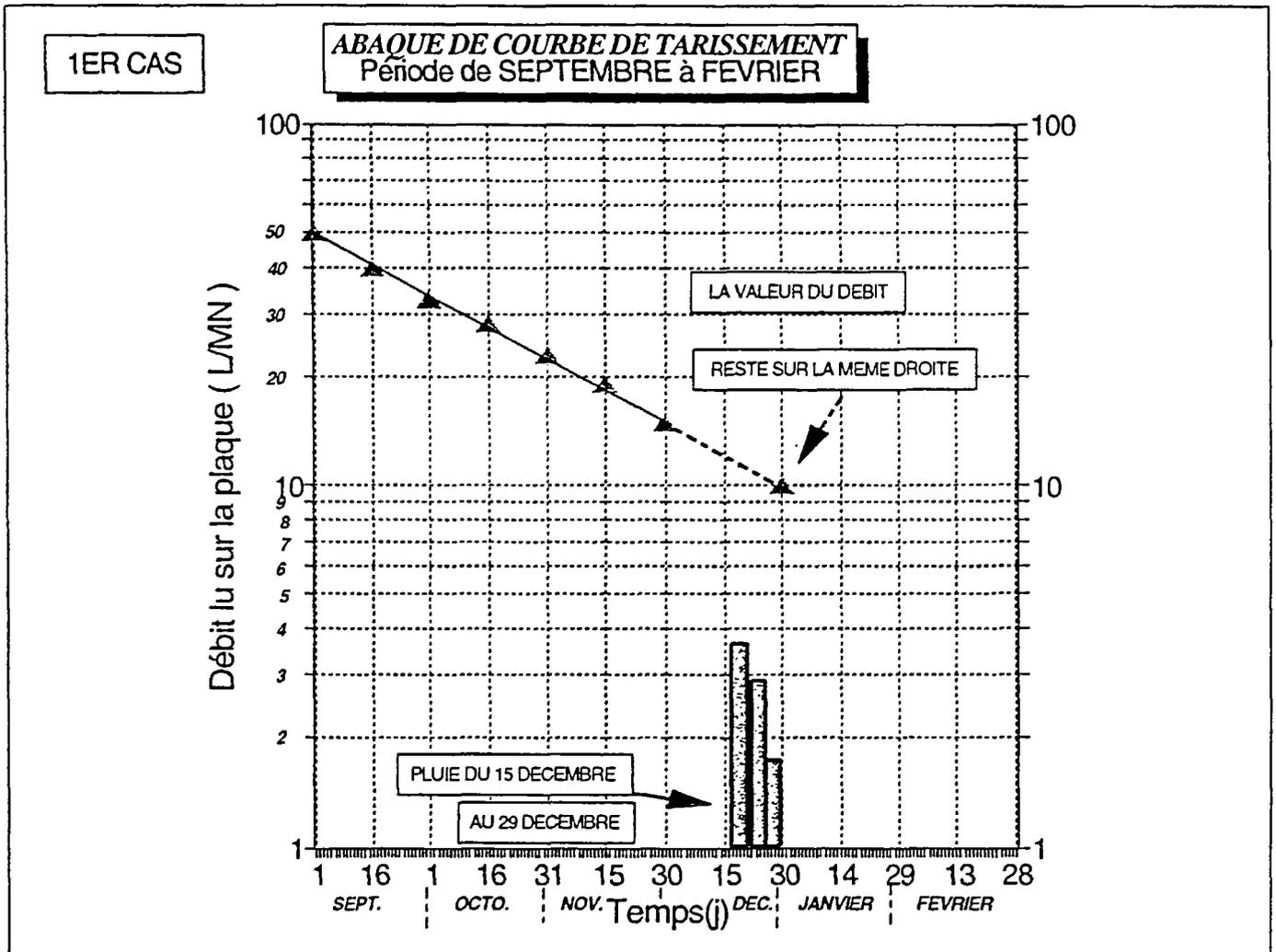


Il faut toujours avoir à l'esprit que ces prévisions ne sont valables que TANT QU'IL NE PLEUT PAS.

- ♦ Si une chute de pluie intervient, le fontainier continue à mesurer sa source sans changer son programme de visite.

Deux cas peuvent se produire :

- Premier cas, le nouveau débit mesuré reporté sur le diagramme est sur le même alignement que les précédents.

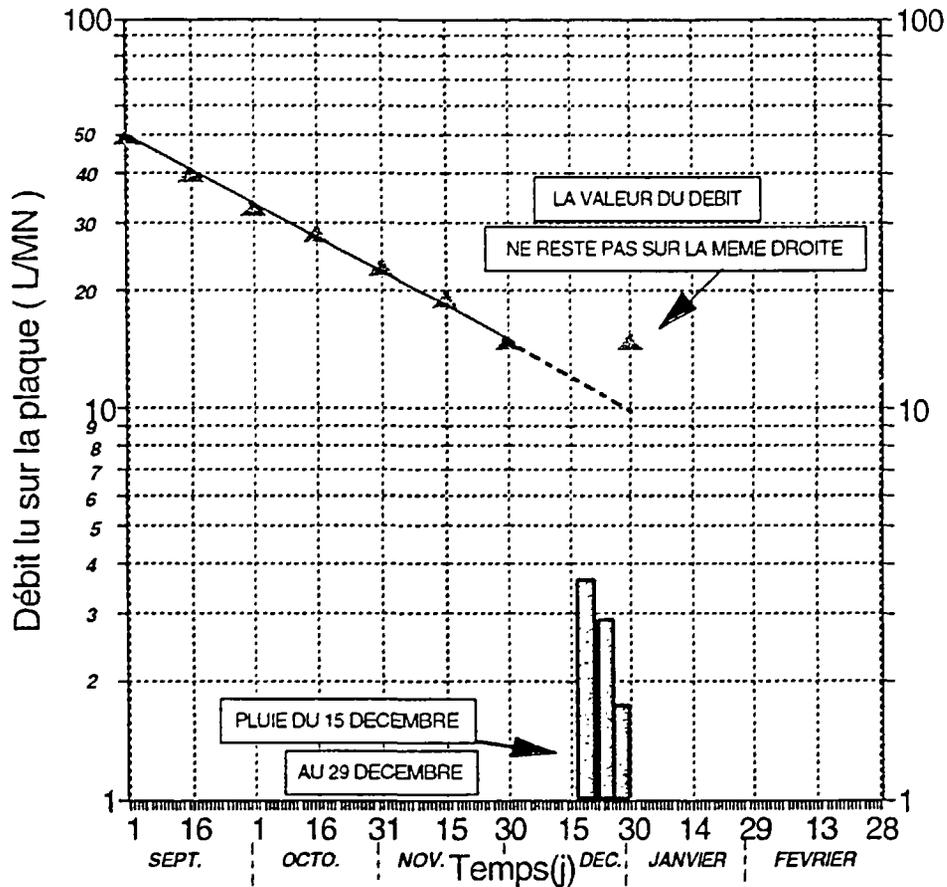


Le tarissement se poursuit, la pluie n'a aucune influence, les prévisions de diminution du débit restent les mêmes.

- Deuxième cas : la valeur du débit reporté sur le diagramme s'écarte de la droite.

2EME CAS

ABAQUE DE COURBE DE TARISSEMENT
Période de SEPTEMBRE à FEVRIER



La pluie a stoppé le tarissement :

- soit de façon durable, en fin de saison sèche, le débit de la source est élevé et la plaque est à nouveau en charge (figure 5). Les mesures ne sont plus nécessaires jusqu'à la prochaine saison sèche ;
- soit de façon temporaire (orage isolé ou insuffisant) ; le fontainier continue à porter les valeurs mesurées sur la même feuille "semi-logarithmique" ou sur une nouvelle feuille, jusqu'à ce qu'un nouvel alignement se produise *. Le fontainier refait alors ses prévisions comme indiqué au paragraphe D.

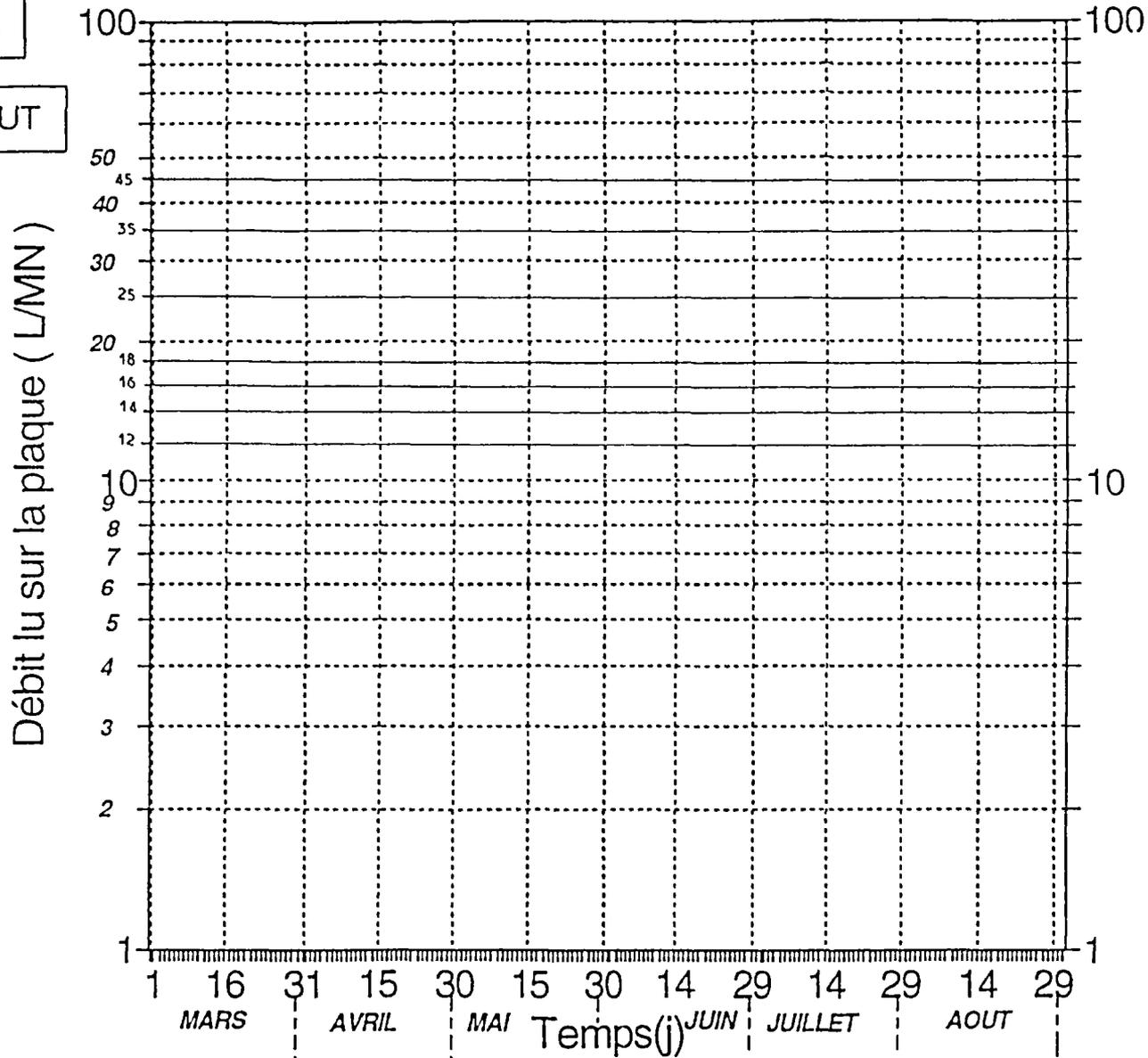
* Après une chute de pluie, le débit de la source peut rester constant pendant une période assez longue.

FEUILLE DE PAPIER

COURBE DE TARISSEMENT: ABAQUE DE TRACE
A l'usage des fontainiers

SEMI-LOG

MARS A AOUT

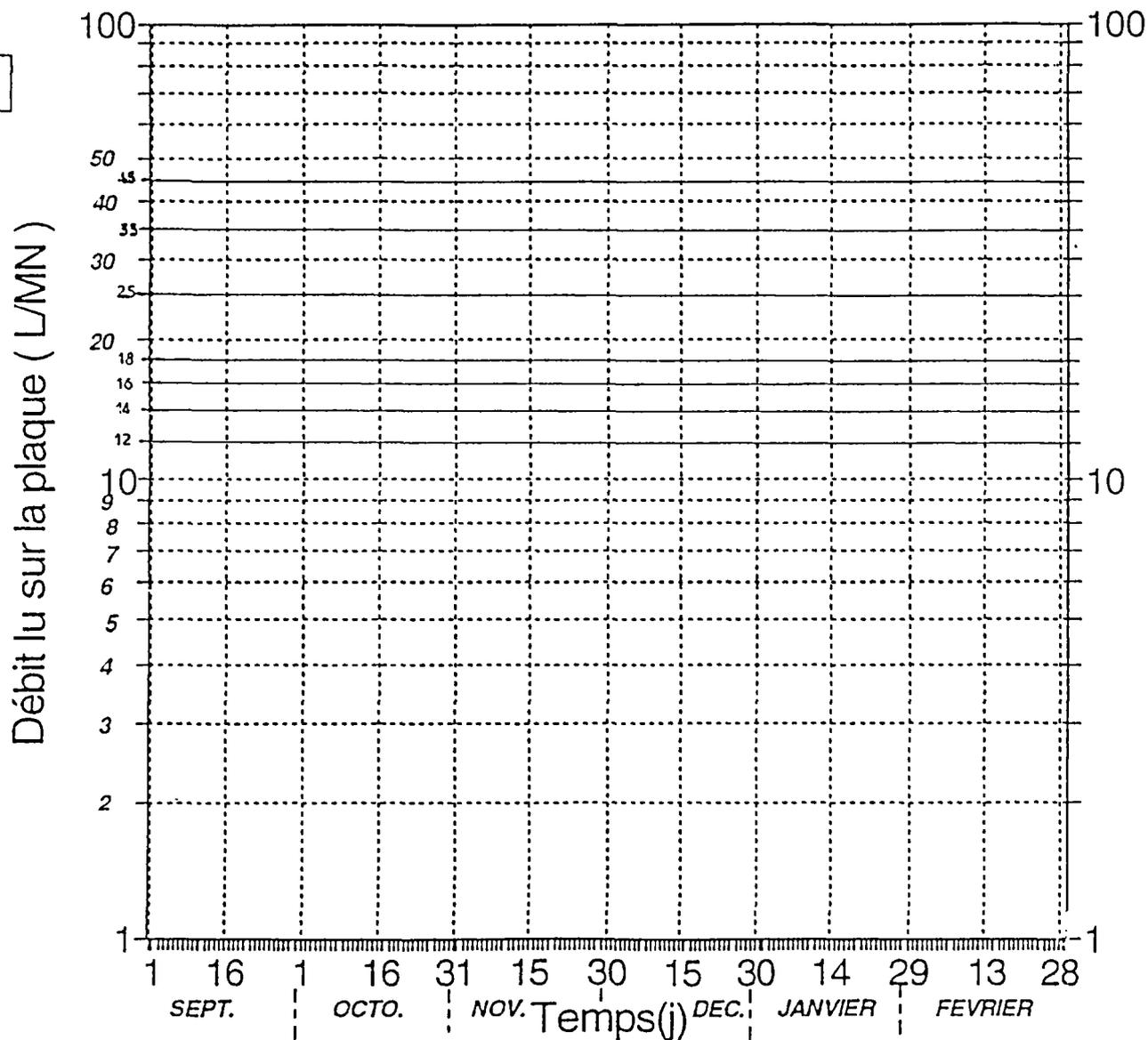


FEUILLE DE PAPIER

SEMI-LOG

SEPT. A FEVR.

COURBE DE TARISSEMENT: ABAQUE DE TRACE
A l'usage des fontainiers



ANNEXE 7

NAUTILUS C 2000

SENSA Z 300

10.400.000.B.E

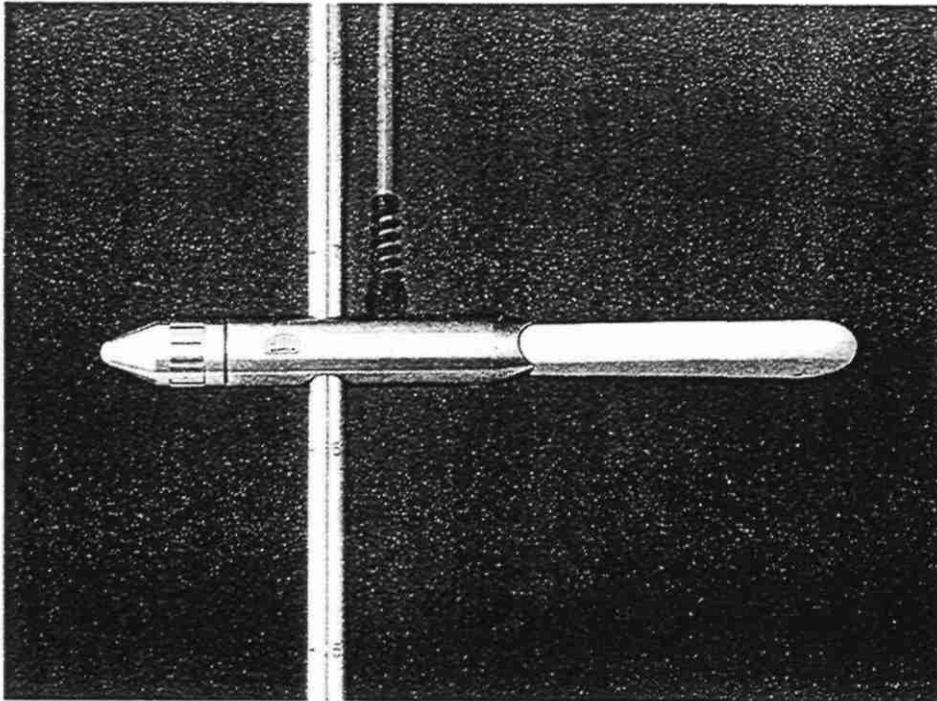
MODE D'EMPLOI

FF. 62035

OTT
HYDROMETRIE

LABORATOIRE HYDRAULIQUE

Certificat d'étalonnage BARIN



Courantomètre OTT

Type: NAUTILUS C 2000

Avec coffret d'affichage No. 143257

Type: SENSE Z 300

Mode d'étalonnage: **BARIN**

Mode de fixation: Perche de 20 mm (acier inoxydable)

Ce document certifie que le matériel OTT ci-dessus mentionné a été étalonné selon la norme ISO 3455 dans le canal d'étalonnage OTT de notre maison.

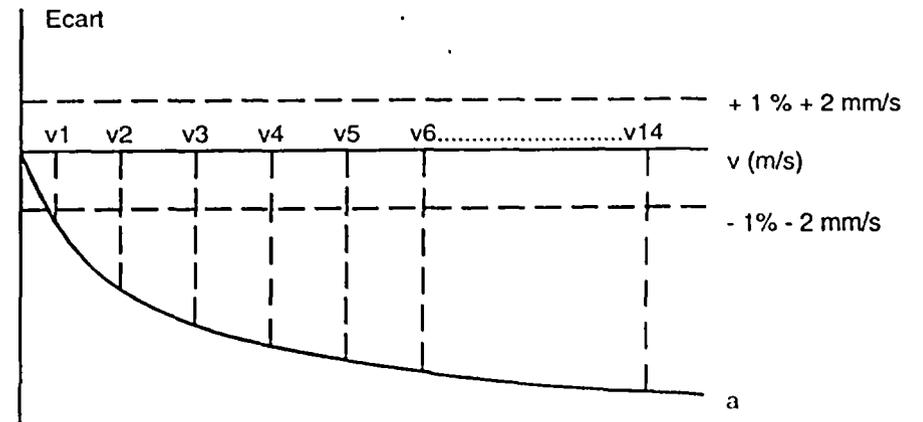
Les valeurs déterminées de cette manière sont dans les limites de la tolérance spécifiée, de 1 pour cent de la valeur mesurée ± 2 mm/s

Kempton, 28.01.1998



Signature

Description du procédé BARIN



Non étalonné, un courantomètre a une réponse du type de la courbe "a".

L'étalonnage consiste à déterminer, pour 14 vitesses différentes réparties sur la plage de mesure totale (0 - 4,5 / 2,5 m/s), les écarts Δv_v par rapport à la vitesse réelle du chariot de tarage. Les valeurs correspondantes sont mémorisées dans un circuit EPROM du coffret d'affichage SENSE Z 300.

Elles permettent le calcul interne des corrections à apporter avant affichage de la vitesse, de façon à garantir en permanence une indication à l'intérieur des limites de tolérance spécifiées.

SOMMAIRE

- 1. Installation des piles**
- 2. Fixation de la sonde sur la perche**
- 3. Connection/déconnection du câble de la sonde à l'unité de commande**
- 4. Choix de la langue**
- 5. Mise en route et mesures**
- 6. Changer de méthode de mesure**
- 7. Changement des paramètres de la méthode de mesure en continu**
- 8. Changement des paramètres de la méthode de mesure moyenne**
- 9. Remarques**

1. Installation des piles

10 piles LR14, 1.5V sont nécessaires.

Dévisser le boîtiers et placer les piles.

Revisser correctement de façon à assurer l'étanchéité du boîtier.

La langue ainsi que le mode de mesure désirés doivent être programmés après le changement des piles.

2. Fixation de la sonde sur la perche

Introduire la perche dans l'orifice prévu à cet effet à l'avant de la sonde.

Visser l'avant pour bloquer le dispositif à la hauteur voulue.

Fixer la partie du câble plongée dans l'eau le long de la perche avec les ustensiles adaptés.

3. Connection/déconnection du câble de la sonde à l'unité de commande

Ces manipulations doivent toujours être effectuées lorsque l'unité est éteinte.

Enlever les protections et introduire la fiche du câble de la sonde dans le jack 1 (sur la gauche du boîtier).

Après utilisation bien replacer les protections qui préviennent l'apparition de moisissures.

4. Choix de la langue

Nécessaire lors de la première mise en route ou après changement des piles.

Langues possibles : Allemand, Français, Espagnol, Anglais.

Allumer l'unité en appuyant sur la touche 

Après environ 3 secondes "HELL-OTT" s'affiche.

Après environ 5 secondes "123456789" s'affiche.

Sélectionner la langue voulue avec la touche 

Confirmer la sélection avec la touche 

5. Mise en route et mesures

Deux méthodes de mesure sont possibles :

- Mesure en continu :

La sonde est activée toutes les 0.5 secondes.

Une moyenne mobile est calculée à partir de chaque groupe de 8 valeurs, elle est affichée ensuite.

L'affichage est mis à jour toutes les 0.5 secondes en m/s. Il apparait sous la forme : $v = \dots$

- Mesure moyenne pendant un temps choisi:

Le temps de mesure peut être réglé auparavant : 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 ou 60 secondes.

Une fois le temps de mesure écoulé, la vitesse moyenne est donnée en m/s. L'affichage apparaît sous la forme : $V = \dots$

Une fois l'unité allumée en pressant la touche  , le message "pret" s'affiche.

Pour activer la prise de mesure, appuyer sur une des touches  

La méthode de mesure utilisée est celle programmée lors de la dernière utilisation de l'appareil. La vitesse est affichée en m/s.

Pour prendre une autre mesure, appuyer sur une des touches  
Le message "pret" s'affiche.

Appuyer sur une des touches  

Poursuivre ainsi jusqu'à la fin du jaugeage.

Pour éteindre l'unité, appuyer sur la touche 

6. Changer de méthode de mesure

L'unité étant éteinte, appuyer simultanément sur les touches   durant 3 secondes environ.

Relacher la touche  tout en continuant à presser la touche 

Le message suivant apparaît: "Moy. non?" ou "Moy. oui?".

"Moy. non?" = mesure en continu

"Moy. oui?" = mesure moyenne

Pour passer d'une méthode à l'autre, presser la touche 

Pour confirmer la méthode sélectionnée, presser la touche 

Si la méthode de mesure en continu est sélectionnée, poursuivre avec le §7.

Si la méthode de mesure moyenne est sélectionnée, poursuivre avec le §8.

7. Changement des paramètres de la méthode de mesure en continu

Après avoir sélectionné la méthode de mesure en continu (voir §6), le message suivant s'affiche : "RS 232 oui" ou "RS232 non".

En effet, les mesures peuvent être transférées à un ordinateur par l'intermédiaire du jack 2 situé sur la droite de l'unité.

Pour activer ou désactiver la fonction de transfert, presser la touche

Pour confirmer le message sélectionné, presser la touche 

Si le message "RS 232 oui" a été confirmé, le taux de transfert peut être modifié (4800, 600 ou 150) en pressant la touche 

Le choix est confirmé en pressant la touche 

Le message suivant apparaît alors : " on" ou " off".
En effet, il est possible d'initialiser un signal acoustique qui sera émis à la fin de l'opération de mesure.

Pour passer de l'un à l'autre, presser la touche 

Pour confirmer le message sélectionné, presser la touche 

Le message "Pret" apparaît.
L'activation de la prise de mesure se fait en appuyant sur une des touches  

Pour mettre la sonde en veilleuse sans éteindre complètement le SENSA Z 300, presser une des deux touches  

Le message "Pret" s'affiche.

Pour éteindre l'unité, presser la touche 

8. Changement des paramètres de la méthode de mesure moyenne

Après avoir sélectionné la méthode de mesure en moyenne (voir §6), le temps de mesure peut être modifié (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 ou 60 secondes) en pressant la touche 

Pour confirmer le message sélectionné, presser la touche 

Le message suivant apparaît alors : "Autom?" ou "Manual?".

- Mesure automatique : la dernière valeur mesurée remplace la précédente. Les mesures sont automatiquement éditées en série.
- Mesure manuelle : Exécution d'une mesure après laquelle le résultat est affiché. L'affichage subsiste jusqu'à une nouvelle mesure.

Pour passer de l'une à l'autre des méthodes, presser la touche 
Pour confirmer le message sélectionné, presser 

Les opérations suivantes sont identiques à celles décrites dans le §7.

9. Remarques

- L'unité peut être éteinte à tout moment en pressant la touche 

En mode manuel, l'unité s'éteint automatiquement quand aucune manipulation n'est effectuée durant 5 mn.

- En mode automatique, une nouvelle mesure débute sans que l'on ne presse de touche.

Dans ce cas la touche  n'a aucune fonction.

- Quand le voltage est inférieur à 10 V, le message : "bat. vides" s'affiche.
Il reste environ 2 heures d'autonomie quelque soit la méthode de mesure utilisée.

ANNEXE 9

Protocole simplifié d'utilisation du logiciel BIBER pour le dépouillement de jaugeage des cours d'eau avec le Nautilus

Tous les paramètres utilisés, pour le dépouillement des données acquises au cours du stage, sont indiqués au cours de cette présentation du logiciel BIBER.

1. Installation du logiciel

Se reporter à la notice explicative du logiciel.

En cas de problème joindre M. STUMPFLE : 01.41.45.02.45

Pour toutes les opérations, introduire la clé à l'arrière de l'ordinateur.

Pour sélectionner la langue, ouvrir le fichier BIBER.INI.

Après "sLanguage", taper : "FRA".

2. Entrée des paramètres relatifs à l'utilisation du Nautilus

Dans le menu principal, sélectionner successivement :

1. gestion

1.1. moulinets/capteurs

1.1.1. traitement

1.1.1.1. ajouter des données

Un tableau s'affiche à l'écran. Le remplir comme suit :

- Caractéristiques des instruments de jaugeage

type d'instrument : moulinet avec compteur

saisie de données : man

fabriquant : Ott

nom instrument : nautilus

n° : 10.400.000 BE

n° hélice : 0

date de la dernière: n'intervient pas, la date indiquée par l'ordinateur peut être laissée

perche/poids (kg) : perche

prof. restante : ne rien mettre

- Courbe d'étalonnage de l'hélice
point d'intersection : 0
1^{er} point d'intersection : -
2^e point d'intersection : -
pente du 1^{er} segment : 1.0000
pente du 2^e segment : -
pente du 3^e segment : -
axes d'intersection : 0.0000
axes d'intersection : -
axes d'intersection : -

Cliquer sur "sauvegarde".
Les données s'affichent dans un tableau.

1.2. compteurs

1.2.1. traitement

1.2.1.1. ajouter des données

Un tableau s'affiche à l'écran. Le remplir comme suit :

Identification d'appareil:

fabriquant : Ott

type : Sensa Z 300

n° appareil : 143257

Cliquer sur "sauvegarde".
Les données s'affichent dans un tableau.

1.3. stations: stations libres

2. paramétrages de base

- méthode de calcul :	section moyenne
- introduire les paramètres de mesure :	mesure par points
- sélectionner le mode de mesure :	mesure par points (plusieurs)
- afficher profil unitaire :	marche
- indiquer la prof. :	marche
- coëf. de fond :	30 %

3. Dépouillement

Dans le menu principal, sélectionner successivement :

1. mesure

1.1. mesure manuelle

Une 1^{er} page apparaît à l'écran.

- cliquer sur "station" et remplir les différentes rubriques.

Bien indiquer la date du jaugeage car elle intervient dans le classement au niveau du tableau où tous les résultats seront affichés.

Cliquer sur "OK".

- cliquer sur "instrument"

Sélectionner "nautilus" et "Sensa Z 300".

Cliquer sur "OK".

- cliquer sur "mode de mesure"

sens du jaugeage (rive droite à rive gauche ou l'inverse)

lecture de hauteur d'eau : niveau

durée de mesure : 1 s (cette valeur a été indiquée par M. STUMPFLE,

elle ne correspond pas à la durée choisie pour le temps de la mesure)

position des points : en cm en dessous de la surface

Cliquer sur "OK".

Une 2^e page apparaît à l'écran.

- pour la 1^{er} verticale (distance 0 par rapport à la berge de départ des mesures) :

distance du point 0 : 0

hauteur d'eau : hauteur d'eau au bord

heure : n'intervient pas, l'heure indiquée par l'ordinateur peut être laissée telle qu'elle

prof. verticale : idem hauteur d'eau

prof. restante : se rempli seul

prof. totale : se rempli seul

Cliquer sur "calage zéro".

- pour les verticales suivantes :

distance du point 0 (m) :

hauteur d'eau :

heure :

prof. verticale (cm) :

prof. restante (cm) :

prof. totale (cm) :

position du pt de mesure ss surf. (cm) :

distance de la verticale à la rive

hauteur d'eau au bord

n'intervient pas, l'heure indiquée par l'ordinateur peut être laissée

idem hauteur d'eau

se rempli seul

se rempli seul

entrer la valeur voulue

nombre de tours :
cliquer sur "insérer".

entrer la valeur en m/s

Répéter les 3 dernières opérations pour toutes les valeurs de la verticale.

Un profil s'affiche simultanément.

Lorsque toutes les données de la verticale sont entrées, cliquer sur "nouvelle verticale".

- pour la dernière verticale :

distance du point 0 : largeur du cours d'eau

hauteur d'eau : hauteur d'eau au bord

heure : n'intervient pas, l'heure indiquée par l'ordinateur peut être
laissée

prof. verticale : idem hauteur d'eau

prof. restante : se rempli seul

prof. totale : se rempli seul

Cliquer sur "calage zéro".

Les résultats sont accessibles et imprimables en sélectionnant successivement à partir du menu principal :

mesure

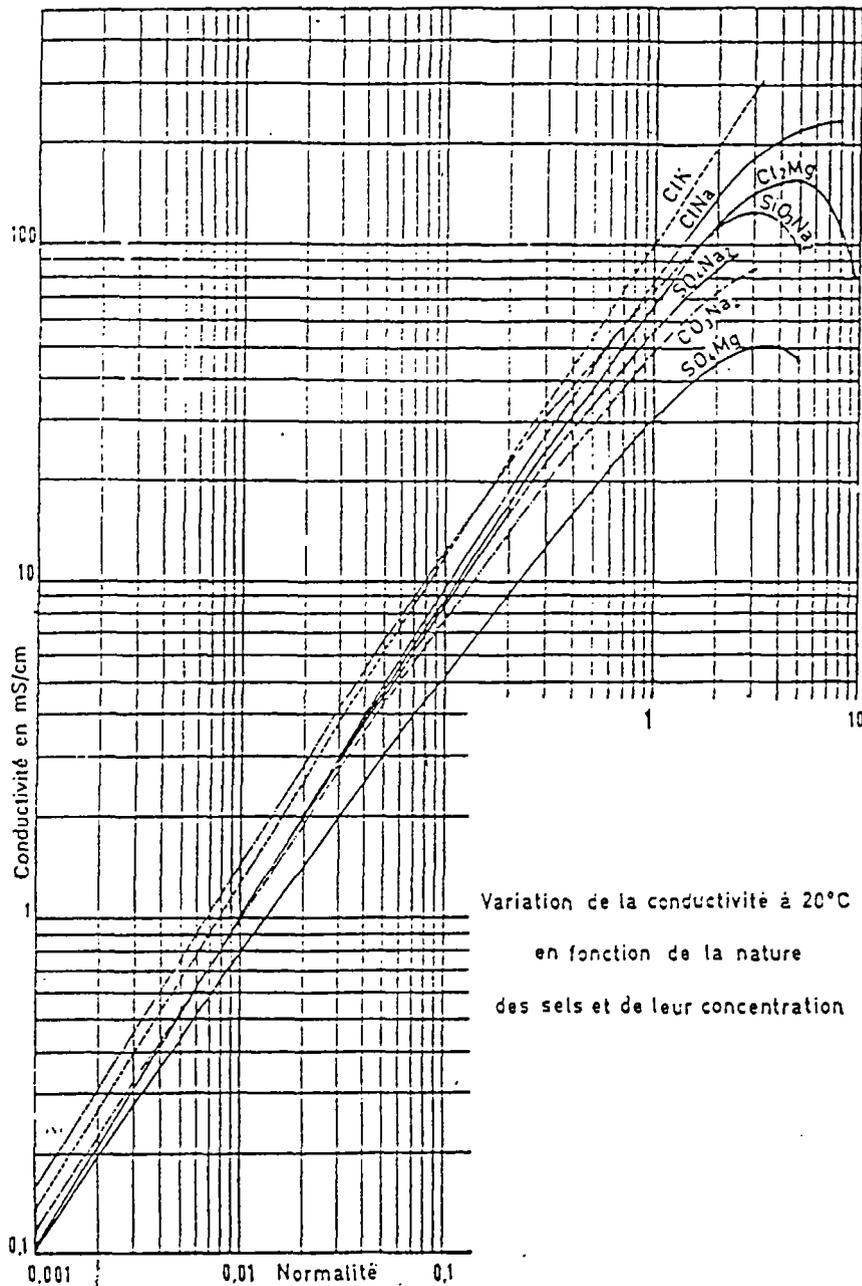
évaluation

Des modifications sur un dépouillement déjà effectué sont possibles en sélectionnant à partir du menu principal :

retraiter les données

Il est impossible de modifier la date du jaugeage.

Il est impossible d'obtenir les courbes d'isovitesse si une des verticales de la section jaugée contient moins de 3 points de mesure.



Rivières	Auteurs et année	K
Dolores, Utah	Meybeck, 1972	0,65
Saline River	Durum, 1953	0,63
Blue Grass Region, Kentucky	Hendrickson, Krieger, 1964	0,60
Spring Greek, Georgie	Toler, 1965	0,56
Pescadero Creek, Californie	Steele, 1969	0,55
Canadian River, Oklahoma	Ledbetter, Gloyna, 1964	0,57
Eaton, Quebec	Ledbetter, Gloyna, 1964	0,56
Rhône alpestre	Meybeck, 1971	0,75
Dranse du Chablais	Meybeck, 1971	1

TABLEAU III-2

Relations $C = k \times$ sur différentes rivières. Valeurs du coefficient k

ANNEXE 11: Données concernant les eaux souterraines

en gras=visité D=drain T=tranchée *=nouveau n° BSS commune en italique=issue dossier Pierre Bérard Type visite C : débit, t°, pH, conductivité N : non vue V : vue, pas de mesure
 GD=galerie drainante DTG=drain+tranchée+gal S=source commune** en italique=issue dossier Pierre Bérard, modifications après visite I : injaugeable ou non jaugée P : partielle l° = erronée
 SD=source+drain DT=drain+tranchée F=fontaine coordonnées en italique=à vérifier sur le terrain J : jonction entre captages T : tane Q = erronée

Type visite	COMMUNE	Lieu-dit	Nom ouvrage	Nat	Prof. arrivée dans captage (m)	Sourc captée	commune alimentée	code BSS	coord. X (km)	Y (km)	Z (m)	Contexte hydrogéol. et hydrolog.	lithologie	Mesures date	Q (m3/h)	Plaque morin Qmax (l/mn)	t°(°C)	Cond. (µS/cm)	pH	RS (mg/l)	Analyse	Météo	Observations	carte IGN	n° ouvrage
	Albaret Ste	La Roussille				oui		814 5	671 25	3287 30	1017														
	Albaret Ste	La Roussille						814 5	671 30	3287 10	1005														
	Albaret Ste Mane	Bonnefont		D		oui	La Roche	814 5 22	671 52	3288 22	1070			17/07/70	8 à 2,4					42	17/07/70 (I)				
	Albaret Ste Mane	Bonnefont		D		oui	La Roche	814 5 22	671 52	3288 22	1070			étage	0,6										
C	Albaret Ste	La Garde				oui	fontaine La	814,6	671,88	3287,22	1042	champ pente faible		19/08/98	0,5		14,8	519	6,1			beau temps	26360	192	
	Albaret Ste Mane					oui		814 5	671 92	3288 72	1005														
	Albaret Ste Mane					oui		814 5	671 98	3287 13	1050														
	Albaret Ste Mane					oui		814 5	672 00	3288 40	1005														
	Albaret Ste Mane	Orfeuille 1(d)		D		oui	La garde, La	814 5 23	672 22	3286 12	1065	granite+arén		?	2 16		10 1			62	21/12/71 (I)	20/09/95	[NO3]=16 8		
	Albaret Ste Mane	Orfeuille 1(d)		D		oui	La garde, La	814 5 23	672 22	3286 12	1065			12/09/96	0										
	Albaret Ste Mane	Bales?, Orfeuille 2				oui	La garde, La	814 5 49*	672 24	3286 18	1060	granite+arén		?	0 36		6 6				oui (I, II)				
	Albaret Ste Mane	Bales?, Orfeuille 2				oui	La garde, La	814 5 49*	672 24	3286 18	1060	granite+arén		12/09/96			10 1	200				20/09/95	[NO3]=19 9		
	Albaret Ste Mane	Bales?, Orfeuille 2				oui	La garde, La	814 5 49*	672 24	3286 18	1060	granite+arén		24/06/86				5 8	78 5		24/06/86 (Pi)		26360		
	Albaret Ste Mane	Estival ou Archer				oui	Albaret	814 5 21	672 31	3287 11	1035	granite+arén		31/10/56	1 2	oui (35)	9 2			120	31/10/56	eau médiocre	26360		
	Albaret Ste Mane	Orfeuillette		GD		oui	Albaret	814 5 17	672 44	3286 62	1030	granite+arén		31/10/56	9 à 1,2		9 2			114	31/10/56		26360		
	Albaret Ste Mane	Orfeuillette		GD		oui	Albaret	814 5 17	672 44	3286 62	1030	granite+arén		12/09/96	0 48		19 3	90				20/09/95	[NO	26360	
	Albaret Ste Mane					oui		814 5	672 72	3285 80	1092												26360		
V	Albaret Ste Marie					oui		814,6	672,76	3286,06	1060	contrebas r	arène	19/08/98									cadenas	26360	193
	Albaret Ste Mane	Rocher Blan		D		oui	Legarde, Alb	814 5	672 82	3285 49	1118	granite+filon		15/07/86	0 36		7 8						26360		
	Albaret Ste Marie	Font del Past		GD		oui	La Garde	814 5 18	672 88	3285 78	1095	granite+arén		02/09/36	1 32								26360		
	Albaret Ste Mane	Rocher Blanc 1				oui	Albaret Ste	814 5 52*	672 97	3286 03	1065	granite+filon		30/04/82	1 2								26360		
	Albaret Ste Mane					oui		814 5	673 17	3288 60	945												26360		
	Albaret Ste Mane	Chancelade				oui	Orfeuille	814 5 16	673 63	3285 23	1035	granite+arén		30/04/82	0 6						22/10/86 (I)		26360		
P	Albaret Ste Marie	Orfeuille ou		GD	2	oui	Orfeuille	814,6.24	673,92	3285,50	1018	granite+ar		29/11/36	0,98		10						26360	194	
I	Albaret Ste Marie	Orfeuille ou		GD	2	oui	Orfeuille	814,6.24	673,92	3285,50	1018	champ pent	granite+arè	19/08/98			14,4	84	5,7			beau temps	arrivée 3 galet	26360	194
	Aumont-Aubrac					oui		837 8	671 00	3270 36	1102												2537E		
	Aumont-Aubrac					oui		837 8	671 07	3270 36	1105												2537E		
	Aumont-Aubrac					oui		837 4	671 10	3270 40	1108												2537E		
C	Aumont-Aubrac			D		oui		838,6	675,63	3269,48	1070			30/06/98	0,18		11,4	129	6,8			pluie la nuit	t° dans fontain	26370	19
C	Aumont-Au	Chancelades		D	3 à 3,5	oui	Chancelade	838,6	671,78	3270,37	1100	champ pent	arène	29/07/98	0,39		12,9	63,4	6,8			pluie la nuit précédente	26370	64	
C	Aumont-Au	Chancelade	abreuvoir	S		oui	Chancelade	838,6	672,75	3270,33	1040	prend naiss	granite+arè	29/07/98	0,16		14,1	124,8	6,7			pluie la nuit précédente	26370	65	
J	Les Besson	Truc de l'ho	Faltre N	D		oui		837,4.25	667,63	3275,27	1228		granite				7,7		6,9	62	08/07/96	jonction des s	2537E	171	
P	Les Besson	Truc de l'ho	Faltre S	GD		oui		837,4.35*	667,69	3275,14	1240		granite				6,7		6,7	36	08/07/96		2537E	170	
C	Les Besson	Truc de l'ho	Faltre S	GD	3,3	oui		837,4.35*	667,69	3275,14	1240	prairie pente	granite	18/08/98	1,25		7,1	23,2	6,1			beau temps, orage bref la v	2537E	170	
C	Les Besson	Truc de l'homme		GD	1,8	oui		837,4	667,46	3275,23	1229	prairie pente	arènes	18/08/98	1,39		9,1	21,9	6,9			beau temps, orage bref la v	2537E	169	
	Les Bessons	Truc de l'homme				oui		837 4	667 90	3275 17	1232												2537E		
	Les Bessons	Truc de l'ho	Mouillard	D		oui		837 4 27	667 68	3275 58	1208	granite+arén		15/11/96	0 6		7 4		6	62	08/07/96		2537E		
	Les Bessons	Truc de l'ho	Rajo	D		oui	Les Bessons	837 4 2	668 02	3275 02	1220	granite+arène					7		6	62	08/07/96		2537E		
	Les Bessons	Truc de l'ho	Indos	D		oui		837 4 26	668 09	3274 86	1218	granite+arén		15/11/96	0 24		7		6	62	08/07/96		2537E		
	Les Bessons	Veyrès		D		oui		838 1 9	671 80	3273 40	1060	granite											26370		
	Les Bessons	Lile		D		oui	Lile	838 1 11	673 87	3273 47	1010	granite											26370		
C	Les Besson	Lile	fontaine	D		oui		838 1	674 00	3273 60	1015	champ pent	granite+arè	05/08/98	0 25		16,8	77,2	5,9			beau temps, 3 captages 11	26370	113	
C	Les Besson	Lile	fontaine	D		oui		838 1	674 17	3273 62	1015	champ pent	granite+arè	05/08/98	0 25		16,8	77,2	5,9			beau temps, 4 captages 11	26370	113	
C	Les Besson	Lile	fontaine	D		oui		838 1	674 27	3273 77	1012	champ pent	granite+arè	05/08/98	0 25		16,8	77,2	5,9			beau temps, 5 captages 11	26370	113	
C	Les Besson	Lile	fontaine	D		oui		838 1	673 70	3273 55	995	sort sous un	granite+arè	05/08/98	0 05		20,3	70,2	6,2			beau temps, stockée dans	26370	114	
C	Les Besson	La Védrine	abreuvoir	D		oui		838 1	672 00	3278 03	1050	champ pent	arène	05/08/98	0 01		19,9	82,7	6,1			beau temps, vent	26370	116	
	Les Bessons		Cros	D		oui	Le Cros	838 1 10	675 12	3276 26	1040	granite											26370		
C	Les Bessons		abreuvoir	D		oui		838 1	675 20	3276 25	1038	champ pent	arène	18/08/98	0 22		13,4	95,6	6,8			beau temps, orage bref la v	26370	172	
	Blavignac	Combe Méjo	Rouveyret 2	D		oui	St Chely d'A	814 5 45	673 17	3284 18	1078	granite+arène											26360		
	Blavignac	Combe Méjo	Rouveyret 1	D		oui	St Chely d'A	814 5 57	673 18	3284 25	1085	granite+arène											26360		
	Blavignac	Combe Méjo	Rouveyret 3	D		oui	St Chely d'A	814 5 27	673 20	3284 05	1070	granite+arène											26360		
C	Blavignac		Sogne de la	DT	1,8	oui	Blavignac	814,5.36	673,22	3285,83	1047	forêt pente	granite+arè	07/08/98	1,94	35	9,1	32	5,8			beau temps	mesures à l'ar	26360	117a
	Blavignac	Rocher blanc	Font du Bata	D		oui	St Chely d'A	814 5 31	673 23	3284 65	1098	granite+arén		03/01/93	3 6		8 5						26360		
P	Blavignac	Font du Bata		D		oui		814,6	673,25	3284,66	1099	granite+arè		01/04/89	4,26		7,6	29,5						118	

I	Blavignac	Font du Bata	D		oui		814 5	673 25	3284.65	1099	forêt pente	granite+arè	07/08/98				9.2	28.1	5.5			beau temps	drain sous l'ea	2636O	118
P	Blavignac	Le Brujal	Sogne de la	D		oui	814.5 37	673.30	3285.74	1048	forêt pente	granite+arè	1936	2.1			10							2636O	117b
C	Blavignac	Le Brujal	Sogne de la	D	1.8	oui	814.5 37	673.30	3285.74	1048	forêt pente	granite+arè	07/08/98	1.7	35		9.1	32	5.8			beau temps	mesures à l'ar	2636O	117b
C	Blavignac		La Bruyère	D	1.8	oui	814.6 38	673.40	3285.80	1037	forêt pente	granite+arè	07/08/98	0.65	35		9.1	32	5.8			beau temps	mesures à l'ar	2636O	117c
	Blavignac	Le Pouzet	Signore	D		oui	814 5 54*	673 43	3283 94	1079			12/04/72	0 36			7							2636O	
	Blavignac		Aygue de la Sogne	D		oui	814 5 35	673 50	3284 64	1070		granite+arèn	21/05/76	0 6			10							2636O	
	Blavignac	Le Pouzet	Roche Chap	D		oui	814 5 53*	673 54	3284 04	1079			12/04/72	0 6			7 5							2636O	
	Blavignac	Le Pouzet	Cham de la	D		oui	814 5 19	673 62	3284 24	1084		granite+arèn	12/04/72	0 36			8			54	25/05/72 (I)			2636O	
	Blavignac		Vaissière	D		oui	814 5 55*	673 70	3284 54	1065			30/05/77	1 2			8							2636O	
	Blavignac	La pêche		D		oui	814 5	676 14	3286 50	953														2636O	
C	La Chaze de	Las Corcelières		D	2	oui	837.8.15	668.78	3267.97	1124	champ pent	granite+arè	29/07/98	16.7			12.2	33.8	6.1			pluie l'avant	injaugeable, d	2637E	61
I	La Chaze de	Viminet		D		oui	838.5	673.80	3263.94	1050	prairie pente	granite+arè	28/07/98				8.9	45.6	6.2			pluie la veill	Alimenté par L	2637O	45
C	La Chaze de	Les Fons		D		oui	838.5	674.70	3266.65	1040	prairie en cuvette, pente f		28/07/98	0.06			12.1	83.3	6			pluie la veill	alimenté par A	2637O	44
C	La Chaze de	Grandviala		D	1.5	oui	838.5	671.37	3269.88	1124	champ pent	granite+arè	29/07/98	0.33			10.9	62.4	5.7			pluie l'avant	veille, beau te	2637O	66
C	La Chaze de	Grandviala		D		oui	838.5	671.58	3269.40	1100	champ pent	arène	29/07/98	0.3			15.2	83.8	5.9			pluie l'avant	captage forme	2637O	67
	Chaulhac						814 1 202	672 20	3293 20	750														2636O	
	Chaulhac						814 1	672 45	3293 32	880														2636O	
	Chaulhac						814 1	672 64	3292 85	885														2636O	
	Chaulhac						814 1	673 00	3293 60	880														2636O	
	Chaulhac	Mizes	SD			oui	814 1 203	673 01	3291 90	895		arène granit	1928	14 4			10 8			93	27/05/64			2636O	
	Chaulhac	Couderc	D			oui	814 1 204	673 12	3292 80	950		sables, gnns	19/11/46	0 15			11							2636O	
	Chaulhac	Barni	D				814 1 205	673 39	3291 82	930		sable à débn	1926	1 2			8 5							2636O	
I	Estables	La Salassette		D		oui	838 7	691 20	3265 05	1285	draine prairi	gros blocs d	30/06/98				10	62 7	6			pluie la nuit	t° erronée, au	2637E	1
I	Estables	La Salassette		D		oui	838 7	691 20	3265 05	1285	draine prairi	gros blocs d	17/08/98				13 4	48 2	6 2			beau temps,	t° erronée, au	2637E	1
I	Estables	La Salassette		D		oui	838 7	691 27	3265 00	1260	draine prairi	granite+arè	30/06/98				13	61	5 7			pluie la nuit	t° erronée, fal	2637E	2
C	Estables	La Salassette		D		oui	838 7	691 27	3265 00	1260	draine prairi	granite+arè	17/08/98	0 13			10 6	66 7	6			beau temps,	orage bref la v	2637E	2
I	Estables	La Salassette		D		oui	838 7 7	691 40	3265 19	1276	draine prairi	granite+arè	30/06/98				8 9	60	6 2			pluie la nuit	mesure dans l	2637E	3
I	Estables	La Salassette		D		oui	838 7 7	691 40	3265 19	1276	draine prairi	granite+arè	17/08/98				10 1	45 2	5 7			beau temps,	t° erronée,inja	2637E	3
C	Estables	Limousis		D		oui	838 7	691 42	3268 30	1302	champ pent	granite	17/08/98	0 61			11 2	38 3	5 8			beau temps,	t° erronée, cap	2637E	157
P	Estables	Les Fourches, La Salasse		D			838 7	691 62	3265 19	1285	draine prairi	granite+arè	mai-85	3 6			6 3							2637E	4
T	Estables	Les Fourches, La Salasse		D			838 7	691 62	3265 19	1285	draine prairi	granite+arè	oct-85	0										2637E	4
V	Estables	Les Fourches, La Salasse		D			838 7	691 62	3265 19	1285	draine prairi	granite+arè	30/06/98									pluie la nuit	faible débit	2637E	4
	Estables	Les Salesses Basses				oui	838 7	691 55	3262 45	1205														2637E	
	Estables					oui	838 7	691 72	3263 16	1250														2637E	
	Estables					oui	838 7	692 10	3264 15	1220														2637E	
	Estables	Les Salesses hautes					838 7 6	692 20	3262 50	1290														2637E	
	Estables	Seigneurs					838 7 18	692 53	3264 77	1262							8			6 5	44	10/07/48		2637E	
	Estables					oui	838 7	692 60	3262 60	1325														2637E	
	Estables					oui	838 7	692 68	3266 00	1290														2637E	
	Estables					oui	838 8 3	693 60	3263 60	1290														2637E	
	Estables	Froidviala					838 8	695 10	3261 88	1500														2637E	
C	La Fage Montivernoux	Grandviala		D		oui	837 8 4	635 36	3269 72	1178	champ pent	granite	29/07/98	3 6			12	46 5	5 6			pluie l'avant	captage couve	2537E	60
	La Fage Montivernoux	Luxal		D		oui	837 3 214	661 06	3270 71	1228		granite												2537E	
	La Fage Montivernoux	Védanne		D		oui	837 3 210	661 90	3271 97	1215		granite												2537E	
C	La Fage Montivernoux	Allatieu		D		oui	837 3 215	663 05	3270 50	1200	champ en p	granite	29/07/98	0 38			15	29 4	6 2			pluie l'avant	mesures à l'ar	2537E	56
C	La Fage Montivernoux			D		oui	837 3	663 48	3271 37	1230	champ en p	granite	29/07/98	0 14			14 8	51 5	5 7			pluie l'avant	veille, beau te	2537E	57
	La Fage Mon	Rouchas del	Rouchas del	D		oui	837 3 212	663 05	3272 90	1258		granite												2537E	
V	La Fage Montivernoux	Ferluguet		D		oui	837 7 4	663 84	3269 45	1192	champ en p	granite	29/07/98									pluie l'avant	fermée avec u	2537E	55
V	La Fage Montivernoux	Fours		D		oui	837 4 9	664 72	3271 28	1230	champ en p	granite	29/07/98									pluie l'avant	dalle béton In	2537E	58
	La Fage Montivernoux	Pouget		D		oui	837 4 8	664 92	3274 90	1205		granite												2537E	
	La Fage Montivernoux	Anglars		D		oui	837 4 13	664 95	3276 22	1178		granite												2537E	
	La Fage Montivernoux	Vednne		D		oui	837 8 5	665 00	3270 30	1210		granite												2537E	
	La Fage Montivernoux					oui	837 8	665 81	3271 74	1200														2537E	
	La Fage Montivernoux					oui	837 4	665 98	3271 64	1180														2537E	
C	La Fage Montivernoux	Fournets		D		oui	837 4 38	666 04	3271 71	1190	champ en b	granite	29/07/98	0 97			13 8	39 7	5 8			pluie l'avant	mesures à l'ar	2537E	59
C	La Fage St J	Ruisseau de	Chapelas	D		oui	837 4 22	666 65	3276 68	1195		granite+arè	14/12/70	3 6										2537E	140b
C	La Fage St J	Ruisseau de	Chapelas	D		oui	837 4 22	666 65	3276 68	1195	prairie pente	granite+arè	10/08/98	0 61			9	38	5 9			beau temps	captage n°35	2537E	140b
C	La Fage St Julien			D		oui	837 4	666 40	3276 75	1205	prairie pente	granite+arè	10/08/98	0 24			9	28 3	5 9			beau temps	captage n°33	2537E	140a
C	La Fage St Julien			D		oui	837 4	666 66	3276 55	1213	paturage pe	granite+arè	10/08/98	0 65			9 1	35 4	6 3			beau temps	captage n°34	2537E	141
C	La Fage St Julien			D		oui	837 4	666 66	3276 55	1213	paturage pe	granite+arè	10/08/98	0 61			8 2	47 8	6 2			beau temps	captage n°34	2537E	141
C	La Fage St Julien			D		oui	837 4	666 66	3276 55	1213	paturage pe	granite+arè	10/08/98	0 41			7 8	34 3	6			beau temps	captage n°34	2537E	141
P	La Fage St J	Ruisseau de	Souches	D		oui	837 4 21	666 57	3276 95	1200		granite	14/12/70	3 6			7 5							2537E	142a
C	La Fage St J	Ruisseau de	Souches	D		oui	837 4 21	668 57	3276 95	1200	prairie pente	granite	10/08/98	3 81			8 6	24	6 2			beau temps	captage n°31	2537E	142a
C	La Fage St Julien			D		oui	837 4	666 65	3276 87	1202	prairie pente	granite	10/08/98	1 32			9 6	69	6 1			beau temps	captage n°32	2537E	142b

Albaret le comtal	Frebaillou	S	oui	Albaret le co	813 7 205	661 93	3285 24	1050	basalte disco	étaige	1 5	7						
Albaret le comtal	Laval		oui	Laval	813 7 204	662 00	3287 19	987										
Albaret le comtal			oui		813 7	662 05	3285 63	995										
Albaret le comtal	Ronzière		oui	La Ronzière	813 7 201	663 52	3288 03	970	granite	?	1 5	8						
Albaret le comtal	Ronzière		oui	La Ronzière	813 7 201	663 52	3288 03	970	granite	étaige	0 6							
Albaret le comtal	Azidiols 2	GD	oui	Les Andes, L	813 8 206	666 33	3284 04	1080	arène, granu	étaige	1 5							
Albaret le comtal	Azidiols 2	GD	oui	Les Andes, L	813 8 206	666 33	3284 04	1080	arène, granu	juin-96	0 54	7 5	30					
Albaret le comtal			oui		812 8	666 34	3283 53	1090										idem Mont-Redon ouest ?
Albaret le comtal	Azidiols 1	GD	oui	Albaret le co	813 8 202	666 48	3284 10	1085	arène graniti	?	1 2							
Albaret le comtal	Mont-Redon	GD	oui	Albaret le co	812 8 208	666 59	3283 59	1105	granulite, aré	étaige	1 8	oui (50)						2536E
Albaret le comtal	Mont-Redon	GD	oui	Albaret le co	812 8 208	666 59	3283 59	1105	granulite, aré	01/06/96	5 4	7 5	30					
Albaret le comtal	Azidiols 3	D	oui	Albaret le co	813 8 201	666 63	3283 23	1102	granite	étaige	5 4	8 5						
Albaret le comtal	Azidiols 3	D	oui	Albaret le co	813 8 201	666 63	3283 23	1102	granite	juin-96	1 5	8 3	80					
Albaret le comtal	Bouteaux	D	oui	St Chely d'A	814 5 29	672 65	3284 33	1065	granite									Captage aband
Albaret le comtal	Mont-Redon	GD	oui	Albaret le co	813 8 202b				arène granitique									2636O
Arzenc d'Apcher	Chabner				813 7 202	661 30	3283 46	1080										idem Mont-Redon ouest ?
Bnon	Fontaine de la Valentine		oui	La Valentine	837 3 202	657 36	3273 58	1070	granite+arène									2536E
Bnon	Costevayre		oui	Costevayre	837 3 203	658 34	3272 16	1170	granite+arène									2537E
Bnon	Levadès	D	oui	Les Levadès	837 3 201	659 03	3271 57	1190	granite+arène									2537E
Bnon	Bnon Vieux		oui	Bnon Vieux	837 3 206	659 15	3272 57	1180	granite+arène									2537E
Bnon	Fontbonne	D	oui	Le Chaldette	837 3 205	659 16	3273 22	1190	granite+arène		1 2	6 8						2537E
Bnon	Puech Blanc	D	oui	La Chaldette	837 3 228	660 21	3273 27	1205	granite+arén	03/12/92	3 6	7 1	6 5	49				2537E
Bnon	Puech Blanc	Sagne des J	oui	La Chaldette	837 3 229	660 48	3273 01	1230	granite+arén	03/12/92	3 6	7 2						2537E
Chauchailles	Fraissinoux		oui	Fraissinoux	837 3 202	656 80	3277 65	1090	granite+arène									2537O
Chauchailles	Bégonal (fontaine hte)		oui	Le Bégonal	837 3 217	657 09	3278 23	1090	granite+arén	30/06/64	1 8							2537E
Chauchailles	Couoste	D	oui	Salecrux	837 3 226	657 35	3277 51	1121	granite+arén	30/06/64	0 3							2537E
Chauchailles	Recoulière	S	oui	Chauchailles	837 3 209	657 37	3276 83	1110	granite+arène									2537E
Chauchailles	Bessineyre	D	oui	Salecrux	837 3 219	657 38	3277 30	1120	granite+arén	30/06/64	0 6	8 5						2537E
Chauchailles	Cheylaret		oui	Le Cheylaret	837 3 204	657 93	3275 06	1110	granite+arène									2537E
Chauchailles	Volpillière 1	D	oui	Boutans, Vol	837 3 227	658 21	3278 87	1070	granite+arène									2537E
Chauchailles	Volpillière 2	D	oui	Volpillières	837 3 231	658 25	3278 69	1090	granite+arène									2537E
Chauchailles	Chauchaillettes (Baldran 2)		oui	Chauchaillett	837 3 211	658 64	3277 40	1075	granite+arén	24/06/75	2 4	8						2537E
Chauchailles	Baldran	D	oui	Chauchailles	837 3 220	659 16	3277 32	1060	granite+arén	30/06/64	0 9	8						2537E
Chauchailles	Roc	S	oui		837 3 208	659 63	3277 20	1060										2537E
Foumels	Mazel	DT	oui	Le Mazel	813 7 203	660 55	3280 98	983	granite porph	24/01/83	0 6	6 5						2536E
Foumels	Sagne de Bernard		oui	Prunière	837 3 207	663 40	3278 48	1160	granite	29/06/71	1 2	8						
Foumels	Neuve (Fromagère)		oui	Varennes, Le	837 4 3	664 21	3278 85	1198	granite+baso	30/03/65	0 6	7 6						
Foumels	La Londe 1		oui	Termes, ham	837 4 1	664 75	3278 80	1160		18/06/78	1 8	7 3						2537E
Foumels	La Londe 2		oui	Termes, ham	837 4 30*	664 77	3278 70	1168										
Foumels	La Londe 3		oui	Termes, Arze	837 4 31*	664 79	3278 62	1171										
Foumels	Sogne	GD	oui	Fauge	837 3				arène graniti	12/04/50	0 42	7		48	20/01/50			situation imprécise
Foumels	Chassagne	D		Varennes, Le Mazel, Fromagères					granite	30/06/64	0 3	9						600 m au SE de Fromagères
Grandvals	Les Combes (Coubos) 2				837 6 201	656 45	3268 68	1165	granite+arène									2537O
Grandvals	Les Combes (Coubos) 1				837 6 201	656 47	3268 60	1165	granite+arén	26/02/65	6							débit pour les d
Grandvals	Peilat		oui		837 7 8	658 44	3268 59	1209										2537E
Grandvals	Brameloup		oui		837 7 7	658 75	3268 53	1205		26/02/65	1 8							débit pour Bra
Noalhac	Les Mirange	Escures	oui	St Juery	837 3 224	660 10	3279 35	1020	granite	15/10/65	3 6	8						2537E
Noalhac	Les Mirange	Mirange	oui	St Juery	837 3 230	660 18	3279 54	1030	granite	15/10/65	2 4	8 5	40					2537E
Noalhac	Barroux		oui	Noalhac	837 3 222	660 50	3278 88	1050										
Noalhac	Combes		oui	Genestuejols	837 3 221	660 79	3276 46	1160		18/06/78	2 88	6 5						
Noalhac	Font Vieille	D	oui	Foumels, Fa	837 3 216	661 03	3276 03	1194	granite									26
Noalhac	Bouldouyre	D	oui	Foumels, Fa	837 3 213	661 10	3276 18	1190	tourbière, filon quartz et granite									
Noalhac	Montouse 2		oui	Bécus	837 4 18	664 68	3276 72	1156			0 6	7						
Noalhac	Montouse 1		oui	Bécus	837 4 17	664 69	3276 82	1158	granite	21/03/69	0 6	7		10	27/05/70 (1)			
Pauillac en Margende	Sogneat	D	oui	Auzenc	814 2 203	681 00	3296 63	1300		20/03/69	2 4	6						
Pauillac en Margende	Boulne	D	oui		814 2 202	681 23	3295 56	1212	granite+arén	20/11/46	0 9	10 5						
Pauillac en Margende	Vachellene	D	oui	La Vachellen	814 2 204	684 35	3293 50	1230	granite+arén	21/03/69	1 2	7						
Rieurtot de Randon	Vitrollettes	S?					1380		granite+arén	19/12/90	1 2	8 6						NE village
Rieurtot de Randon	La Roche				862 3 3	691 03	3257 55	1200	granite+arène									2638E
Rieurtot de R	Coulagnes hautes				862 4 10	695 15	3258 85	1300	granite+arène									2638E
Rieurtot de Randon	La Bessière basse 1				838 7 15	692 00	3261 76	1230	arène	07/11/62	3 31							2637E
Rieurtot de Randon	La Bessière basse 1				838 7 15	692 00	3261 76	1230	arène	sept-53	3 3							2637E
Rieurtot de Randon	La Bessière basse 2				838 7 10	692 24	3261 96	1270	arène	07/11/62	3 31							2637E
Rieurtot de Randon	La Bessière basse 2				838 7 10	692 24	3261 96	1270	arène	sept-53	3 3							2637E

ANNEXE 12		Résultats des jaugeages des cours d'eau																		
n° BIBER	COMMUNE	C : jaugeage chimique N : jaugeage Nautilus S : jaugeage au seuil	Lieu-dit	cours d'eau	coord. X (km)	Y (km)	Z(m)	lithologie	date Mesures	type jaugeage	Q (m3/s)	V (m/s)	sect. hydro (m')	t° (°C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Météo	Observations	carte IGN	n° visite
	St Denis en Margende		Le Mézère	Le Mézère	690 87	3271 57	1190	arène	30/06/98					18	29 7	6 92	la nuit précédente	2637E	6	
	Les Laubies		Le Mézère	Le Mézère	686 62	3269 45	1045	arène	30/06/98					18	36	7 4	la nuit précédente	2637O	7	
	Serverette		La Souchère	Le Mézère	683 65	3268 65	981	arène	30/06/98					18 3	37	6 97	la nuit précédente	2637O	8	
5	St Alban sur Limagnole		Les Faux	La Limagnole	688 75	3278 78	1129	arène	16/07/98	N	0 081	0 13	0 63	12 2	34 6	7 21	beau temps	2637E	B1	
6	St Alban sur Limagnole		Le Franquet	La Limagnole	685 3	3277 35	1010	granite	16/07/98	N	0 073	0 12	0 62	11 3	35 9	7 54	beau temps	2637O	B2	
4	St Alban sur Limagnole		Le Moulinet	La Limagnole	684 42	3276 08	945	arène+granite	16/07/98	N	0 106	0 15	0 69	18 1	38	7 12	beau temps	2637O	B3	
	St Alban sur Limagnole		Chassefeyre	affluent de la Limagnole	685 4	3278 38	1020	granite	16/07/98	S	0 004			13 4	58	7 71	beau temps	2637E	B4	
8	St Alban sur Limagnole		La Prairie	La Limagnole	683 3	3275 55	925	granite	15/07/98	N	0 107	0 11	0 98	19 8	37 9	7 45	beau temps	2637E	A1	
31	St Alban sur Limagnole		La Prairie	La Limagnole	683 3	3275 55	925	granite	15/07/98	N	0 092	0 14	0 64	19 8	37 9	7 45	beau temps	2637E	A2	
7	St Alban sur Limagnole		La Gaier	La Limagnole	681 63	3275 53	922	arène+granite	16/07/98	N	0 188	0 1	0 78	19 2	43 6	7 88	beau temps	2637E	B5	
9	St Eulalie		Le Puech du Mouly	La Cigale	688 8	3277 23	1225	arène	23/07/98	N	0 026	0 09	0 3	11	36 3	6 98	beau temps	2637E	C1	
10	St Eulalie		Le Mouly	Chardenoux	687 84	3274 44	1146	arène	23/07/98	N	0 023	0 22	0 1	13 5	36 8	7 34	beau temps	2637E	C2	
11	St Eulalie		Les Ribeyres	La Cigale	687 92	3274 74	1155	granite	23/07/98	N	0 031	0 09	0 36	16 2	35 6	7 39	beau temps	2637E	C3	
12	St Alban		Chinchazes	Le Guillard	685 52	3274 78	965	granite	23/07/98	N	0 015	0 05	0 31	20 4	39	7 95	beau temps	2637O	C4	
13	St Alban		Mine de Pic	Le Guillard	683 22	3275 08	940	granite	23/07/98	N	0 036	0 14	0 25	18 4	37	6 9	beau temps	2637O	C5	
14	St Alban		La Gaier	La Limagnole	681 6	3275 53	922	arène+granite	23/07/98	N	0 09	0 09	1 03	24 8	44 2	8 33	beau temps	2637O	C6	
15	Malbouzon		Grand Viala le Vieux	La Védne	686 13	3269 08	1148	arène+granite	31/07/98	N	0 018	0 13	0 13	13 7	43 1	6 83	instable	2537E	D1	
16	Malbouzon		Pont de Malpertus	La Rimeize	686 28	3267 95	1149	arène+granite	31/07/98	N	0 083	0 13	0 64	18 6	51 4	7 45	instable	2537E	D2	
17	Fau de Peyre		Pont de Las Fédés	La Rimeize	689 05	3268 97	1105	granite	31/07/98	N	0 145	0 04	3 58	19 2	49 1	7 8	instable	2537E	D3	
18	Fau de Peyre		Le Moulin de Graniboules	La Rimeize	670 67	3271 75	1049	granite	31/07/98	N	0 192	0 1	2 02	20 6	48 8	8 22	instable	2537E	D4	
19	Aumont-Aubrac		Crozes	Le russeau des Rivière	674 78	3272 58	974	arène	31/07/98	N	0 028	0 15	0 19	18 4	124 7	6 91	instable	2637O	D5	
25	Rimeize		Le Chapouillet	La Rimeize	678 43	3275 43	935	arène+granite	06/08/98	N	0 203	0 07	2 99	14 6	124 6	6 87	beau temps	2637O	E1	
24	Rimeize		Le Moulin de Chambon	La Rimeize	679 18	3275 15	925	arène+granite	06/08/98	N	0 402	0 11	3 67	18 8	81 6	7 48	beau temps	2637O	E2	
23	St Chely d'Apcher		Le Chandaion	La Rimeize	676 98	3277 04	923	arène	06/08/98	N	0 023	0 1	0 23	20 9	142 4	7 95	beau temps	2637O	E3	
22	St Chely d'Apcher		Russeau de Sarroul	La Rimeize	673 67	3279 36	996	arène	06/08/98	N	0 019	0 07	0 28	22 3	57 3	7 13	beau temps	2637O	E4	
21	St Chely d'Apcher		La Malagazane	La Rimeize	673 55	3277 72	1010	granite	06/08/98	N	0 108	0 17	0 62	20 9	51 6	7 64	beau temps	2637O	E5	
20	St Chely d'Apcher		Salonique	Russeau du Cros	674 23	3277 08	983	arène+granite	06/08/98	N	0 025	0 05	0 46	22 4	47 1	7 25	beau temps	2637O	E6	
26	Malzieu Foran		Le Galastre	La Rimeize	682 62	3289 18	1165	arène	11/08/98	N	0 029	0 12	0 24	13	22 7	7 03	beau temps	2636O	F1	
	Malzieu Foran		Le Galastre	La Rimeize	682 62	3289 18	1165	arène	11/08/98	C	0 028			13	22 7	7 03	beau temps	2636O	F1	
	Malzieu Foran		russeau de Boisserolle	La Rimeize	681 9	3287 6	1052	granite+arène	11/08/98	C	0 006			15 4	41 9	6 39	beau temps	2636O	F2	
	Malzieu Foran		russeau de Boisserolle	La Rimeize	681 9	3287 6	1052	granite+arène	11/08/98	C	0 008			15 4	41 9	6 39	beau temps	2636O	F2	
	Malzieu Foran		Le Galastre	La Rimeize	681 75	3287 54	1045	arène	11/08/98	N	0 058	0 19	0 3	17 1	30 4	7 03	beau temps	2636O	F3	
27	Malzieu Foran		Ravin du Coumbemou	La Rimeize	680 87	3286 68	1040	arène	11/08/98	S	1E-04			18 1	67 1	7 29	beau temps	2636O	F4	
28	Malzieu Ville		Le Galastre	La Rimeize	678 63	3284 65	865	arène	11/08/98	N	0 04	0 11	0 37	19	44	7 13	orangeux, pluie fine à la fin du jaugeage	2636O	F5	
	Malzieu Ville		Ravin de la Coste	La Rimeize	680 07	3287	920	granite+arène	11/08/98	C	0 004			16 6	44 2	7 22	peux, pluie fine	2636O	F6	
29	Serverette		Le Mézère	Le Mézère	683 65	3268 65	981	granite+arène	20/08/98	N	0 081	0 16	0 51	13 1	36	6 84	beau temps	2637O	G1	
30	Les Laubies		Belamy	Le Mézère	672 15	3269 2	1020	granite+arène	20/08/98	N	0 074	0 17	0 44	13 6	38	7 27	beau temps	2637E	G2	
	Les Laubies		Belamy	Le Mézère	672 15	3269 2	1020	granite+arène	20/08/98	C				13 6	38	7 27	beau temps	2637E	G2	
	Les Laubies		Le Salacrux	Le Mézère	686 4	3269 3	1040	granite+arène	20/08/98	C	0 006			18	42 1	7 14	beau temps	2637E	G3	
	Les Laubies		Le Salacrux	Le Mézère	686 4	3269 3	1040	granite+arène	20/08/98	C	0 005			18	42 1	7 14	beau temps	2637E	G3	
	Les Laubies		Pont Long	Le Mézère	687 3	3269 82	1055	arène	20/08/98	C	0 075			18 2	35 6	6 78	beau temps	2637E	G4	
	Les Laubies		Pont Long	Le Mézère	687 3	3269 82	1055	arène	20/08/98	C	0 061			18 2	35 6	6 78	beau temps	2637E	G4	
	St Denis en Margende		affluent	Le Mézère	686 83	3270 01	1055	arène	20/08/98	C	0 006			19	44 7	7 35	beau temps	2637E	G5	
	St Denis en Margende		affluent	Le Mézère	686 83	3270 01	1055	arène	20/08/98	C	0 005			19	44 7	7 35	beau temps	2637E	G5	
	St Denis en Margende		Le Mézère	Le Mézère	690 65	3271 25	1185	granite+arène	20/08/98	C	0 071			17 2	31 2	6 89	beau temps	2637E	G6	
	St Denis en Margende		Le Mézère	Le Mézère	690 65	3271 25	1185	granite+arène	20/08/98	C	0 069			17 2	31 2	6 89	beau temps	2637E	G6	

ANNEXE 13

Erreur sur la mesure du débit en fonction du récipient utilisé et du débit jaugé

$$Q = V * T$$

$$\ln Q = \ln V + \ln T$$

d'où

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dV}{V} + \frac{dT}{T}$$

$$dQ = \left(\frac{dV}{V} + \frac{dT}{T} \right) \times Q$$

avec

Q : débit jaugé,

V : volume mesuré,

T : temps mis pour atteindre le volume V ,

dQ : erreur absolue sur le débit jaugé,

dV : erreur absolue sur le volume mesuré,

dT : erreur absolue sur le temps.

1. Jaugeages à l'aide du bêcher de 500 ml

La gamme de débits jaugés à l'aide du bêcher de 500 ml s'étend de 0.01 à 1.43 m³/h.

Le temps mis pour atteindre 500 ml est :

- 0.05 h avec un débit de 0.01 m³/h,

- 3.49.10⁻⁴ h avec un débit de 1.43 m³/h.

Les erreurs sur la lecture du volume et le temps sont estimées à :

$$dV = 10 \text{ ml}$$

$$dT = 0.5 \text{ s.}$$

La formule présentée ci-dessus donne les résultats suivants :

- pour 0.01 m³/h :

$$dQ = \left(\frac{10 \cdot 10^{-6}}{0.5 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.5/3600}{0.05} \right) \times 0.01 = 2.28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{h}$$

soit 2.28% du débit.

- pour $1.43 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$dQ = \left(\frac{10 \cdot 10^{-6}}{0.5 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.5/3600}{3.49 \cdot 10^{-4}} \right) \times 1.43 = 0.598 \text{ m}^3 / \text{h}$$

soit 41.8 % du débit

2. Jaugeages à l'aide du seau de 5 l

La gamme de débits jaugés à l'aide du seau de 5 l s'étend de 0.09 à $8.9 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le temps mis pour atteindre 5 l est :

- 0.056 h avec un débit de $0.09 \text{ m}^3/\text{h}$,
- $5.62 \cdot 10^{-4} \text{ h}$ avec un débit de $8.9 \text{ m}^3/\text{h}$.

Les erreurs sur la lecture du volume et le temps sont estimées à :

$$dV = 100 \text{ ml}$$

$$dT = 0.5 \text{ s.}$$

La formule présentée ci-dessus donne les résultats suivants :

- pour $0.09 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$dQ = \left(\frac{100 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.5/3600}{0.056} \right) \times 0.09 = 2.02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{h}$$

soit 2.25 % du débit.

- pour $8.9 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$dQ = \left(\frac{100 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.5/3600}{5.62 \cdot 10^{-4}} \right) \times 8.9 = 2.377 \text{ m}^3 / \text{h}$$

soit 26.71 % du débit.

3. Jaugeages à l'aide du seau de 10 l

La gamme de débits est considérée de 5 à $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le temps mis pour atteindre 10 l est :

- $2 \cdot 10^{-3} \text{ h}$ avec un débit de $5 \text{ m}^3/\text{h}$,
- $5 \cdot 10^{-4} \text{ h}$ avec un débit de $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

Les erreurs sur la lecture du volume et le temps sont estimées à :

$$dV = 200 \text{ ml}$$

$$dT = 0.5 \text{ s.}$$

La formule présentée ci-dessus donne les résultats suivants :

- pour $5 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$dQ = \left(\frac{200 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.5 / 3600}{2 \cdot 10^{-3}} \right) \times 5 = 0.447 \text{ m}^3 / \text{h}$$

soit 8.94 % du débit.

- pour $20 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$dQ = \left(\frac{200 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.5 / 3600}{5 \cdot 10^{-4}} \right) \times 20 = 5.96 \text{ m}^3 / \text{h}$$

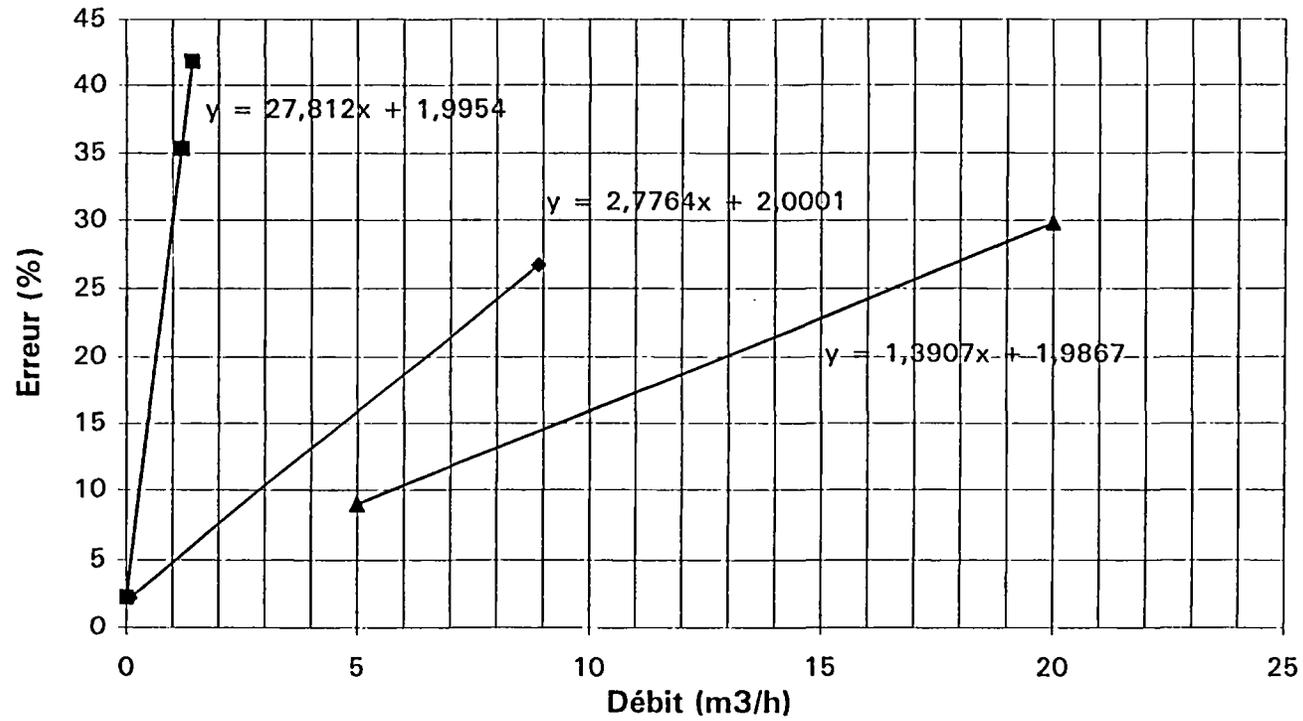
soit 29.8 % du débit.

Le pourcentage d'erreur varie linéairement en fonction du débit (Figure jointe).

Jusqu'à $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$, l'erreur commise en utilisant le b cher de 500 ml n'excède pas 15 %, ce qui est acceptable. De 0.5 à $5 \text{ m}^3/\text{h}$, il est souhaitable d'utiliser le seau de 5 l. Au delà, le seau de 10 l engendrerait le moins d'erreurs.

Pour des raisons de commodité de port de matériel mais aussi de mise en place sous l'arrivée d'eau, ce seau a très peu été utilisé pour les jaugeages au niveau des captages.

Erreur sur la mesure du débit en fonction du récipient utilisé et du débit jaugé (dT = 0,5 s)



■ Bécher 500 ml (dV = 10 ml) ◆ Seau 5 l (dV = 100 ml) ▲ seau 10 l (dV = 200ml)

PROJET "BASSIN VERSANT LOZERIEN DE LA TRUYERE"

Nom Station / Cours d'eau	N° DTG	H	J	M	A	x	y	B.H
Dérivés Colagne	2501	10/89	1956	1953				
Dérivés Cruéize	2502	01/83	1959	1959				
SOUILLER La Truyère	2519	01/83	1956	1956	866.5	680000	1982100	x
St JUERY Le Bès	2522	01/83	1956	1956	917	659300	1980900	x
GRANDVAL La Truyère (Aménagement usine)	2525	-	1969	1969	670	658200	1991700	x

Légende

H : hauteurs horaires }
 J : débits journaliers } disponibles en fichiers historiques EDF/DTG
 M : débits mensuels }
 A : altitude station
 xy : coordonnées connues (Lambert II)
 * : station fournie à la Banque HYDRO

Annexe VII

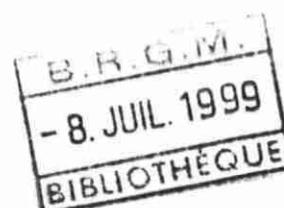
LE STRAT P. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Synthèse géologique du bassin versant lozérien de la Truyère.- Rapport BRGM R 40222, 39 p., 3 fig..



DOCUMENT PUBLIC

PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus
Ressources en eau Margeride Ouest
Synthèse géologique du
Bassin versant lozérien de la Truyère

Juin 1998
R.40222



En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Le STRAT P. - 1998 - Synthèse géologique sur le bassin versant lozérien de la Truyère, Rap. BRGM R.40222, 39p., 3 fig.

© BRGM, 1998, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Rapport BRGM R.40222

Sommaire

SOMMAIRE	2
LISTE DES FIGURES	3
INTRODUCTION	4
1 - LES GRANDS ÉVÉNEMENTS GÉOLOGIQUES DE LA PARTIE SUD DE LA FRANCE (DEMANGE, 1996).....	8
2 - EVOLUTION OROGÉNIQUE DE LA CHAÎNE VARISQUE ET MISE EN PLACE DU GRANITE DE LA MARGERIDE.....	10
3 - LES SPÉCIFICITÉS DU SECOND STADE DE LA PÉRIODE NÉOVARISQUE (325-285 MA), SYNCHRONÉ DE LA MISE EN PLACE DU GRANITE DE LA MARGERIDE (323 MA - NAMURIEN) - (BOUCHOT ET AL., 1997).	12
3.1-DESCRIPTION GENERALE	12
3.2 - ORIGINE ET MISE EN PLACE DU PLUTON MARGERIDIEN (DE GOËR , 1994).....	13
4-CADRE GÉOLOGIQUE DU GRANITE DE LA MARGERIDE.....	14
4.1-PRESENTATION DU GRANITE DE LA MARGERIDE (COUTURIE, 1977).	14
4.2-CONTEXTE GEOLOGIQUE DU LACCOLITHE DE GRANITE (COUTURIE, 1977)	14
4.3-GEOLOGIE DES GRANITES (DUTARTRE 1981 ET COUTURIE 1977).	15
4.3.1- <i>Le granite de la Margeride</i>	15
a - Description pétrographique macroscopique.....	15
b - Description pétrographique microscopique	16
c - Age de la mise en place.....	16
d - Les enclaves de vaugnérite	16
4.3.2- <i>Les leucogranites</i>	16
a - Description pétrographique macroscopique.....	16
b - Description pétrographique microscopique	17
c - Age et mode de mise en place.....	17
4.4-LES SYSTEMES FILONIENS (DUTARTRE, 1981)	17
4.4.1- <i>Les filons d'aplite mélanocrate</i>	17
4.4.2- <i>Les filons de leucogranite</i>	18
4.4.3- <i>Les microgranites</i>	18
a - Description pétrographique macroscopique.....	18
b - Description pétrographique microscopique	18
c - Age et mode de mise en place.....	19
4.4.4- <i>Les kersantites</i>	19
4.4.5- <i>Les porphyrites</i>	19
a - Description pétrographique macroscopique.....	19
b - Description pétrographique microscopique	19
c - Age et mode de mise en place.....	20
4.4.6- <i>Les quartz filoniens</i>	20
a - Les quartz pegmatitiques	20
b - Les brèches tectoniques hypersilicifiées.....	20
c - Les filons à jaspe calcédonieux.....	21
d - Comparaisons chronologiques à l'échelle régionale	21
4.5 - LES BASSINS OLIGOCENES ET LEURS REMPLISSAGES (DUTARTRE, 1981)	21
a - les grès rouges de base.....	22
b - Les argiles rouges à kaolinite.....	22
c - Les argiles sableuses bariolées	22

4.6 - LES FORMATIONS DU MIOCENE A L'ACTUEL (DUTARTRE, 1981).....	23
a - Les épandages de galets	23
b - Les venues basaltiques.....	23
4.6.1- <i>Les formations superficielles (Coque-Delhuille, 1979)</i>	23
a - les anciennes formations d'altération et de transport.....	24
a1 - Les altérites évoluées.....	24
a2 - Les microconglomérats quartzeux	24
a3 - Les épandages de galets.....	24
b - Les altérations récentes.....	25
b1 - Les arènes in situ	25
b2 - Les formations de bas de pente.....	25
4.6.2- <i>Les formations alluviales et les dépôts associés</i>	25
a - Les alluvions récentes et actuelles	25
b - La tourbe.....	25
4.7 - LES GRANDES UNITES MORPHOLOGIQUES	26
4.7.1 - <i>Mise en place</i>	26
4.7.2 - <i>Les variations locales du modelé : Les petites unités morpho-giques</i>	26
a - Les reliefs résiduels.....	26
b - Les alvéoles	27
4.8 - LES DONNEES GITOLOGIQUES (DUTARTRE, 1981)	27
4.8.1 - <i>L'uranium</i>	27
4.8.2 - <i>Le plomb</i>	27
4.8.3 - <i>L'étain et le tungstène</i>	27
4.8.4 - <i>La fluorine</i>	27
4.8.5 - <i>Le quartz et les felspaths alcalins</i>	28
5. - L'ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE CÉNOZOÏQUE RÉGIONALE ET LES SYSTÈMES ALLUVIONNAIRES DE LA TRUYÈRE (DE GOËR, 1991).....	29
5.1. - LES EVENEMENTS PALEOGENES.....	29
5.2.-LES EVENEMENTS NEOGENES	30
5.3. - LES EVENEMENTS QUATERNAIRES	30
5.4. - LES ALLUVIONS ANCIENNES ET RECENTES.....	31
CONCLUSION	32
BIBLIOGRAPHIE	33

Liste des Figures

Figure 1 – Carte géologique simplifiée du Massif Central français, Echelle 1/200 000 ...	5
Figure 2 – Principales unités distinguées dans le Massif granitique de la Margeride	6
Figure 3 – Coupe schématique à travers le laccolithe granitique de la Margeride de Chaudes Aigues à Marvejols.....	7

Introduction

(Lapadu-Hargues, 1948 ; De Goer, 1994)

Du point de vue, hydrographique, le département de la Lozère est un des plus importants de France. Il est un de ceux qui alimentent à la fois les bassins de la Loire, de la Garonne et du Rhône. C'est le "Toit de la France" et il amène ruisseaux et rivières aux départements limitrophes sans rien recevoir en échange.

Le système hydrographique de ce département comprend plusieurs groupes. Le plus vaste, appartient au groupe de la Garonne. Il a pour artère principale le Lot avec pour affluent la Truyère.

La Truyère qui retient notre propos, prend sa source dans la montagne de la Margeride, au lieu dit Charpal. Elle traverse ce massif en direction du N.-N.W., puis subitement, dans un coude qui se situe aux gorges de Garabit, elle oblique vers le S.W. et va aboutir à Entraygues, si bien nommée d'ailleurs, dans le Lot, après avoir contourné vers le N.W. tout le massif de l'Aubrac.

C'est donc l'histoire géologique de la région traversée par la Truyère que l'on va traiter désormais. Il s'agit de l'histoire d'un des plus grands massifs granitiques de France : le granite de la Margeride. (cf figures 1 et 2)

Le substratum fondamental de la région est constitué par l'immense lentille (laccolithe) granitique "de la Margeride", d'âge carbonifère moyen (325 Ma), étendue sur 3200 Km² mais épaisse de 4 à 8 Km seulement. (cf figure 3). Ce granite dit « à dents de cheval » en raison de ses mégacrists de feldspath, a longtemps été taillé comme pierre de construction et d'apparat. Il est injecté par de nombreuses petites masses d'un granite clair (leucogranite), un peu plus jeune (300 Ma), à grain variable, généralement fin (aplite), mais parfois au contraire très grossier (pegmatite), et dont le feldspath a alors été exploité pour la céramique. Aucune minéralisation d'intérêt économique n'est ici associée à cet ensemble granitique.

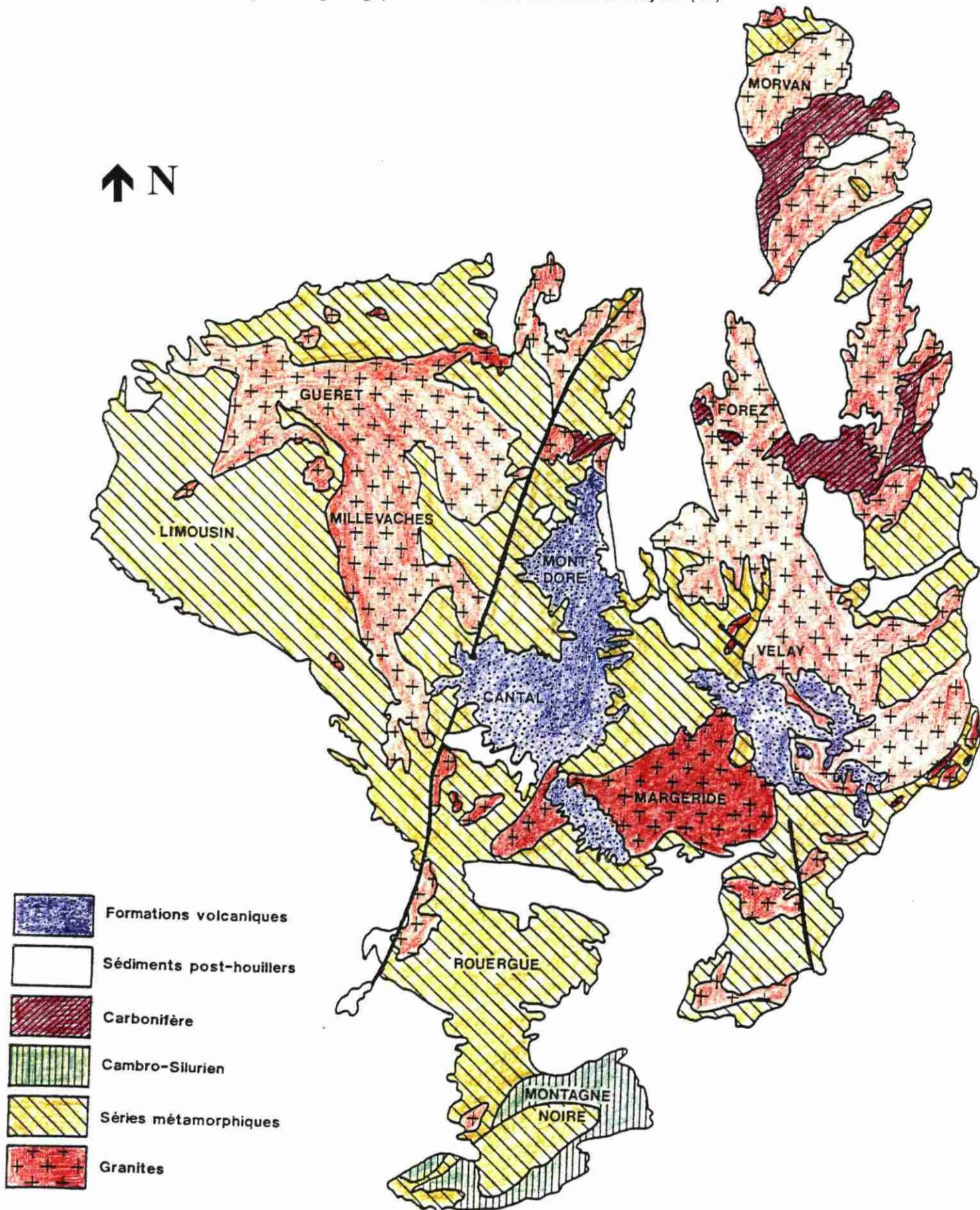


Figure 1 – Carte géologique simplifiée du Massif Central français, Echelle 1/200 000

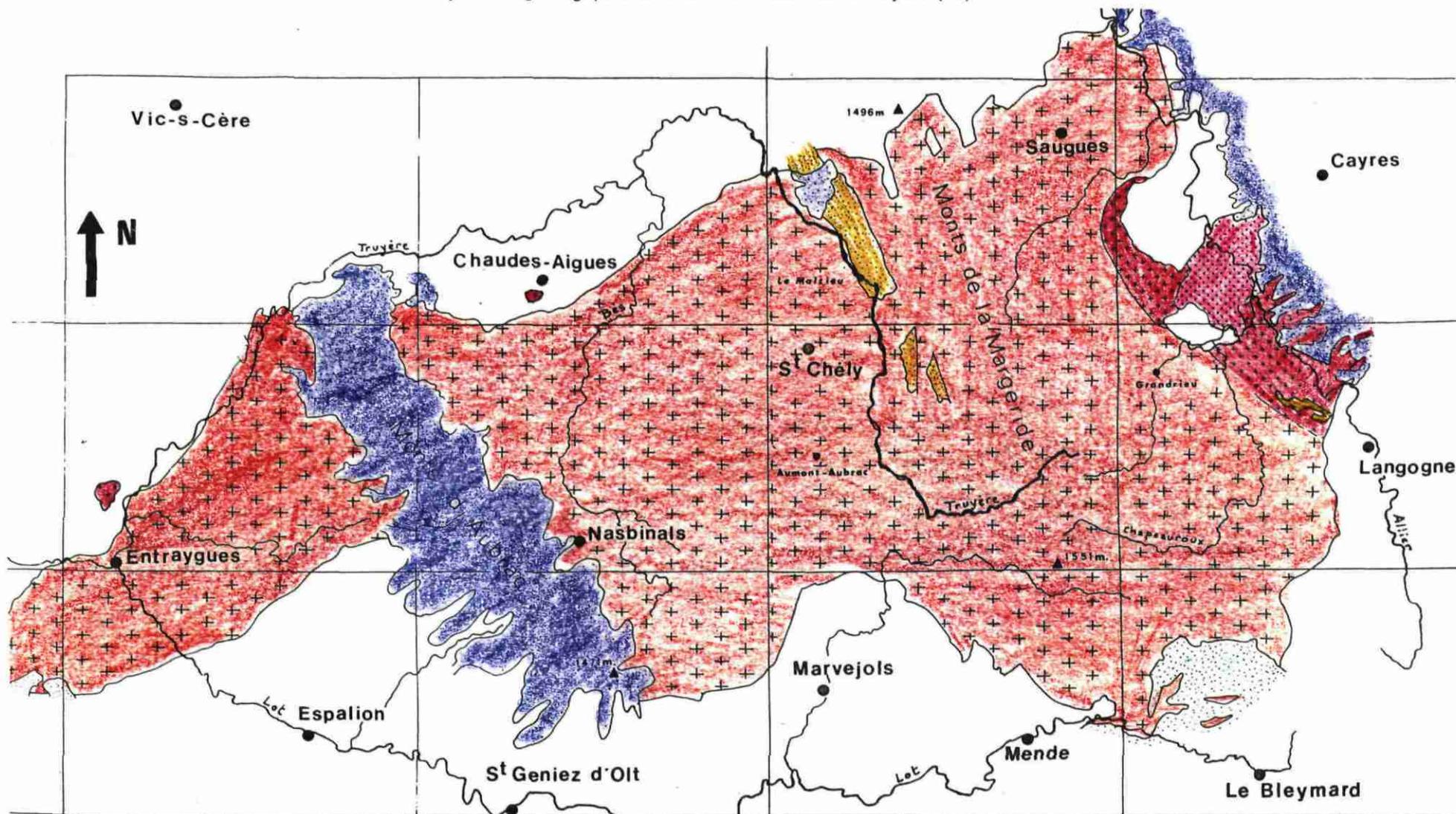


Figure 2 – Principales unités distinguées dans le Massif granitique de la Margeride

- ◆ Le granite de la Margeride est représenté par des croix en rouge
- ◆ Les massifs de Soulaques (Nord d'Entraygues), de Chaudes Aigues et de Chambon le Château (entre Saugues et Langognes) sont représentés en rouge vif avec des petites croix. Le granite de Saint Christophe se situe au Nord – Est de Grandrieu en rouge et avec des petites croix.
- ◆ Les terrains volcaniques sont représentés en bleu foncé
- ◆ Les terrains métamorphiques sont laissés en blanc
- ◆ Les terrains sédimentaires sont en pointillé bleu clair
- ◆ Le quadrillage correspond aux limites des feuilles topographiques à 1/50 000

Synthèse géologique sur le bassin versant de la Truyère (48)

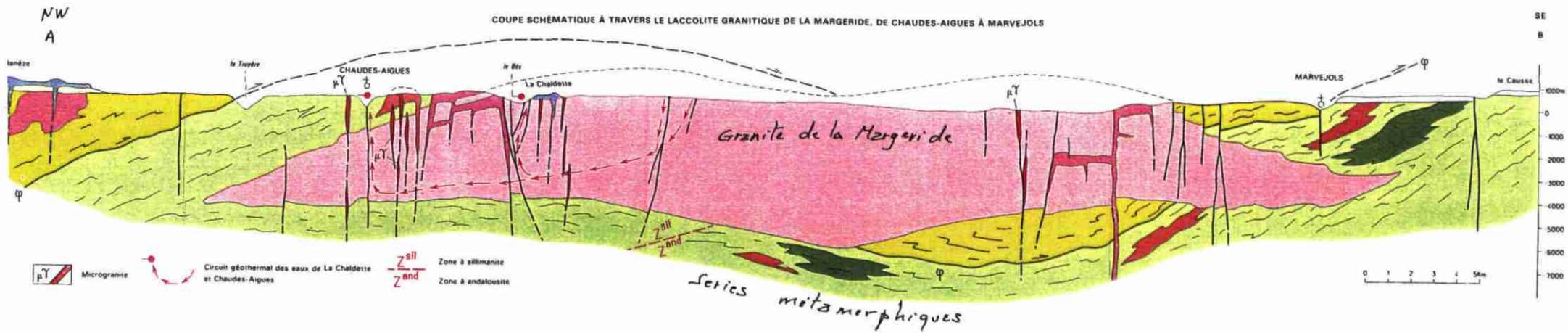


Figure 3 – Coupe schématique à travers le laccolithe granitique de la Margeride de Chaudes Aigues à Marvejols

1 - Les grands événements géologiques de la partie sud de la France (Demange, 1996)

L'histoire géologique d'une région donnée est rythmée par de grandes périodes de calme ou d'extension, avec ouvertures de rifts puis souvent d'océans et formation de bassins sédimentaires, et de périodes de compression avec formation de chaînes de montagne.

Les roches les plus anciennes dans la région (datées de 1600 Ma pour les gneiss de Caramany dans la région de Saint-Paul-de-Fenouillet, Pyrénées Orientales), sont affectées par une orogénèse complexe datée entre 650 et 550 Ma et connue pratiquement partout sur la terre (orogénèse cadomienne en Bretagne, panafricaine en Afrique, brésilienne au Brésil).

Au cours de cette orogénèse se mettent en place de grands massifs de granites variés, qui seront transformés lors de l'orogénèse hercynienne en orthogneiss.

L'effet de cette orogénèse panafricaine est de rassembler tous les continents en un seul et unique continent : La Pangée.

A partir du Cambrien (544 Ma), cette Pangée se fracture en plusieurs grands continents : le Gondwana au Sud et la Laurasia au Nord avec entre les deux plusieurs micro-continent. Ainsi s'individualisent un ou plusieurs micro-continent Armorico-Arverne qui constituent ce que l'on appelle maintenant les zones internes de l'orogène hercynien. Entre ces micro-continent et la Laurasia, au Nord, se développe un océan appelé océan médio-européen. Au Sud, ces micro-continent sont séparés du Gondwana par l'océan centralien. Pendant tout le Paléozoïque, le Sud de la France appartiendra à la marge nord du Gondwana. Il n'est pas certain que l'océan centralien soit très large et qu'une véritable croûte océanique ait été présente partout.

Au Nord du domaine qui constitue la France, la Laurasia se fracture également et un océan appelé Lapetus sépare un bloc européen-asiatique, d'un bloc américain. Puis, à partir de l'Ordovicien supérieur, cet océan se ferme et de la collision de ces deux blocs naît une chaîne de montagne, appelée chaîne calédonienne (Norvège, Ecosse, Groenland...). Bien que le Sud de la France se situe en dehors du domaine calédonien, des contrecoups lointains modifient la paléogéographie antérieure et provoquent une lacune de sédimentation à partir de l'Ordovicien moyen.

La mer revient localement à partir de l'ordovicien supérieur mais, dans le Sud, elle ne revient qu'à partir du dévonien inférieur.

A partir du Dévonien moyen, il y a rapprochement progressif du Gondwana et du continent nord-atlantique : c'est l'orogénèse hercynienne ou varisque qui se développe progressivement depuis les zones internes jusque vers les zones externes. Le résultat de cet orogène est de former une pile d'unités allochtones où les zones internes viennent chevaucher les zones externes jusqu'à des domaines externes autochtones qui demeurent non déformés ou peu déformés. De même, certains blocs situés dans les zones internes (Mauges, NE du Massif armoricain...) sont demeurés peu déformés, la déformation se localisant à la bordure de ces anciens blocs.

A la fin de l'orogénèse hercynienne, les continents sont de nouveau rassemblés en une seule masse : La Pangée.

A partir du Trias, la Pangée se fracture et l'on a de nouveau, deux grandes masses continentales, le Gondwana au Sud et la Laurasia au Nord, séparés par un vaste océan appelé la Téthys.

A partir du Jurassique moyen, 154 Ma, la Laurasia se fracture et l'Atlantique nord commence à s'ouvrir ; puis, à partir du Crétacé inférieur, le Golfe de Gascogne s'ouvre et la plaque ibérique se sépare de l'Europe.

A cette période d'extension succède une période de collision et de nouvelles chaînes de montagnes vont surgir de la fermeture de la Téthys : c'est l'orogénèse alpine au sens large.

Cette collision se fait en plusieurs stades. Tout d'abord la plaque ibérique remonte vers le Nord et rencontre la plaque européenne : les Pyrénées et la Provence sont le résultat de cette collision qui a lieu au cours de l'Eocène. Le front de cet orogène se situe au Sud de la Montagne noire, dans l'arc de Saint Chinian, la région de Clermont-L'Hérault et le "pli de Montpellier".

L'orogénèse alpine au sens strict se développe loin au Sud-Est de la Montagne noire et ne produit que peu d'effets dans notre région.

L'histoire récente consiste en l'érosion des reliefs formés par l'orogénèse pyrénéenne et par l'effondrement de la chaîne avec l'ouverture du Golfe du Lion à partir de l'Oligocène.

2 - Evolution orogénique de la chaîne varisque et mise en place du granite de la Margeride

(Bouchot et al., 1997).

Les Hercynides d'Europe, qui s'étendent depuis la péninsule Ibérique jusqu'à l'Oural, résultent de la collision entre les continents de Gondwana et Baltica (Autran, Cogné, 1980 ; Bard et al., 1980 ; Paris, 1993). Cette collision a entraîné le développement d'un orogène polyphasé ayant duré plus de 100 Ma entre le Dévonien et l'Autunien (Autran et Cogné, 1980 ; Matte, 1986, Burg et al., 1987 ; Ledru et al., 1994a et b ; Edel et Weber, 1995). Deux grands types de domaines sont distingués en fonction de leur implication dans l'orogène :

Le domaine interne, composé d'unités intensément métamorphisées lors des phases majeures d'épaississement crustal (Limousin, Lyonnais, Sud Armorique...) (Burg et Matte, 1978 ; Pin et Peucat, 1988 ; Ledru et al., 1989 ; Mercier et al., 1991 ; Santallier et al., 1994). Ce domaine correspond à la zone axiale de l'orogénèse au sein de laquelle sont préservées les principales reliques des sutures collisionnelles.

Les domaines externes, situés de part et d'autre de cette zone axiale, composés de sédiments turbiditiques ou de plate-forme, peu métamorphisés, en position d'avant-pays et ayant échappé à l'évolution crustale profonde (Montagne noire, Pyrénées, centre Armorique).

L'édification de la chaîne résulte de la succession de phases de déformation d'échelle crustale.

Trois grandes périodes orogéniques (éovarisque, mésovarisque et néovarisque) ont été définies (Ledru et al., 1989, 1994) :

La période éovarisque est caractérisée par l'enfouissement d'unités océaniques et continentales lors de la résorption de l'océan du paléozoïque inférieur, entre 450 et 400 Ma (Silurien). Les phénomènes de subduction se traduisent par un métamorphisme de haute pression dont les témoins sont préservés dans les unités allochtones supérieures (Pin et Lancelot, 1982, Pin et Peucat, 1986).

La période mésovarisque est caractérisée par des chevauchements majeurs responsables de l'épaississement crustal et du développement du métamorphisme régional barrowien entre 400 et 350 Ma, soit le Dévonien (Burg et Matte, 1978 ; Mercier et al. 1991). Suivant les secteurs, cette tectonique est scellée par l'intrusion de granites tardi à post-tectoniques datés entre 360 et 350 Ma, soit le Carbonifère inférieur (Limousin), par le dépôt de sédiments marins dévono-dinantien (Est du massif central) ou par la formation de bassins continentaux d'âge Viséen (Marche, Morvan). Par ailleurs l'existence de zones en extension témoignant de phénomènes d'amincissement post épaississement dès le Dévono-Dinantien est attestée par la préservation de séries tholéitiques dans l'Est du massif central (Brévenne) ainsi que dans le Massif armoricain (bordures du bassin de Châteaulin).

La période néovarisque, comprise entre 350 et 285 Ma (Carbonifère), correspond à une migration du front orogénique de part et d'autre du domaine interne, lors d'un premier stade néovarisque (350-325 Ma). Ce front orogénique se traduit par le développement au Sud de larges nappes superficielles impliquant des sédiments de plate-forme, d'âge paléozoïque inférieur et dévonien, et le dépôt de flyschs d'âge viséen à namurien en position de bassin d'avant-pays, tant au Sud (Montagne noire) qu'au Nord (bassin d'Ancenis). Dans le domaine interne, la déformation se traduit par le développement de grands décrochements tels que le cisaillement sud-armoricain et ses prolongements dans la Marche (Berthé et al., 1980 ; Choukroune et al., 1983 ; Lespinasse et Pécher, 1984 ; Lerouge et Quénardel, 1988). Ce stade s'achève par une phase de granitisation majeure, synchrone de la surrection de la chaîne et du passage progressif d'un régime compressif à un régime extensif. Au second stade néovarisque, ce régime d'extension, débutant vers 330 Ma soit du Viséen supérieur (l'âge de mise en place du granite de la Margeride est de 323 ± 12 Ma soit le Namurien, Couturié et al., 1977), s'amplifie et se manifeste finalement par le développement des bassins stéphano-permiens.

3 - Les spécificités du second stade de la période néovarisque (325-285 Ma), synchrone de la mise en place du granite de la Margeride (323 Ma - Namurien) - (Bouchot et al., 1997).

3.1-DESCRIPTION GENERALE

A l'échelle de la chaîne varisque, le second stade néovarisque compris entre 325 et 285 Ma soit le Silésien, correspond à un retour à l'équilibre de la croûte épaissie et à l'exhumation de la croûte profonde le long de grandes zones de cisaillement. Parmi les processus tectoniques pouvant expliquer cette exhumation, l'extension d'échelle crustale est notamment invoquée par Mattauer et al. (1988), Malavieille et al. (1990), Burg et al (1994) et Faure (1989, 1995). Ces phénomènes extensifs seraient associés aux stades finaux de la mise en place des dômes migmatitiques entre 310 et 300 Ma dans la Montagne noire (Echtler et Malavieille, 1990), le Velay (Costa, 1992 ; Lagarde et al., 1994) et plus loin dans les Pyrénées (Canigou) et le massif armoricain (Morbihan, Gaspais et al., 1993). Même si le développement des bassins stéphano-permiens est postérieur au stade ductile de déformation, la localisation de certains d'entre eux au niveau des zones majeures de cisaillement suggère au moins un lien de cause à effet

L'étude des contextes minéralisés montre que la transition du régime de compression du premier stade néovarisque à une extension généralisée au second stade néovarisque, n'est ni synchrone ni ubiquiste. Les âges et l'intensité de cette extension varient d'une région à une autre. Elle se limite aux zones d'expansion latérale des granites mis en place autour de 325 Ma (Namurien), tel le granite de la Margeride (Couturié, 1977), et le limousin (Faure et Pons, 1991).

La mise en place du granite de la Margeride s'effectue donc au point d'inversion des phases compressives et extensives de la période néovarisque entre le premier et le second stade. vers 325 Ma (Namurien). Il faut rappeler que cette seconde période néovarisque est marquée par la mise en place du dôme du Velay entre 310 et 300 Ma (Westphalien) qui aura des conséquences directes sur la géométrie du granite de la Margeride.

Le granite de la Margeride est un grand laccolithe monzogranitique et granodioritique qui présente une remarquable stratification verticale avec concentration des ferromagnésiens, des plagioclases et des phénocristaux de Feldspaths potassiques à la base (Couturié, 1977) daté de 323 +/- 12 MA (base du Namurien). Il est déformé en grands synclinaux et anticlinaux par l'intrusion diapirique du Velay entre 310 et 300 Ma (Stéphanien).

La période de mise en place du granite de la Margeride, soit le second stade de la période néovarisque, est marquée par des phénomènes interdépendants :

- transition de la compression à l'extension,
- zones de cisaillement en extension d'échelle crustale,

- granulitisation de la base de la croûte probablement avec l'accrétion sous-crustale de magmas basiques autour de 300 Ma, soit le Stéphaniens (Pin et Vielzeuf, 1988),
- exhumation rapide associée à une érosion des reliefs et au développement des bassins continentaux.

3.2 - ORIGINE ET MISE EN PLACE DU PLUTON MARGERIDIEN (DE GOËR , 1994)

Le granite de la Margeride est intrusif dans les schistes cristallins de la série du Lot, au Sud et de la série de la Truyère au Nord-Est. La limite nord du granite est parallèle à la foliation des gneiss, qui plongent faiblement vers le Nord-Ouest. Dans le détail, la découpe dentelée du contact par la tectonique cassante indique que le granite s'enfonce en concordance avec la schistosité sous son toit gneissique.

Le granite, d'âge carbonifère moyen, est de type alumino-potassique, ce qui se traduit minéralogiquement par l'existence de cordiérite dans les faciès moyen et clair, et par l'abondance de l'orthose qui se développe en cristaux de taille spectaculaire. La distribution typologique des populations de Zircon (Barbarin, in Laboue, 1982), très homogène pour l'ensemble des faciès, place le granite de la Margeride sur la "lignée 3" définie par Pupin, (1980), qui correspond aux roches alumineuses intrusives d'origine essentiellement crustale.

Le pluton, post ou tardi-tectonique, s'est mis en place sous forme d'un laccolithe subhorizontal de 4 à 8 kilomètres d'épaisseur (Bayer et al, 1982), vers 320 Ma (Namurien), à la fin de la phase de collision. Celle-ci s'est traduite par un métamorphisme barrowien et par le charriage profond de deux unités métamorphiques superposées : groupe leptyno-amphibolique et paragneiss à biotite et sillimanite. Cet épaissement crustal a entraîné avec un certain retard (20 Ma), dû au rééquilibrage thermique de l'ensemble, une fusion de la partie inférieure de la croûte avec formation d'un liquide granitique. On note la faible participation de roches basiques associées : enclaves microgrenues et, dans la région ouest du massif, vaugnérites et rares filons lamprophyriques.

Mis à part quelques filons aplitiques liés à des jus résiduels du magma granitique de la Margeride, la grande majorité des leucogranites correspond à une autre génération, datée de 300 Ma (Stéphaniens) et donc postérieure de 20 Ma à la première. Ces leucogranites sont contemporains du granite du Velay, qui résulte de la fusion d'un niveau de la croûte plus élevé que celui où avait pris naissance le magma du granite porphyroïde. Les leucogranites se sont installés préférentiellement dans le granite de la Margeride, probablement en raison de son aptitude à la fracturation plus grande que celle des terrains métamorphiques environnants. Ils apparaissent sous forme de filons subverticaux et de vastes plateaux, à contours irréguliers, correspondant à la subsidence de grands panneaux d'encaissant découpés "en boîte de sucre".

A la fin du Carbonifère, l'ensemble granitique est recoupé par des filons de microgranite et de "porphyrite", probablement contemporains du volcanisme potassique, acide et basique, connu dans certains bassins houillers du massif central, et en relation avec les événements tectoniques transtensionnels qui leur ont donné naissance.

4-Cadre géologique du granite de la Margeride

4.1-PRESENTATION DU GRANITE DE LA MARGERIDE (COUTURIE, 1977).

Le granite de la Margeride est considéré comme un vaste laccolithe de 4 à 8 kilomètres d'épaisseur, intrusif dans les diverses séries métamorphiques qui l'entourent. Il est situé aux confins des départements de l'Aveyron, du Cantal, de la Haute Loire et de la Lozère. Le massif granitique de la Margeride occupe au centre du Massif central, une surface d'environ 3200 Km², étirée suivant la direction E.NE-W.SW.

Couturié, 1977, définit, selon la teneur en biotite, trois faciès granitiques (faciès clair, faciès moyen, faciès sombre) qui auraient comme origine une différenciation par gravité d'un magma unique.

Postérieurement à sa mise en place, le granite subirait deux phases tectoniques majeures : la première à composante verticale serait liée à la montée diapirique du granite du Velay, la seconde engendrerait des mouvements de grande ampleur avec formation de plis. La zone granitique orientale à faciès sombre prendrait alors une signification de coeur anticlinal.

La gravimétrie (Pétrequin, 1979) remet en question la déformation souple du granite amenant en surface le faciès sombre et avance l'hypothèse d'une mise en place du granite selon plusieurs zones d'alimentation N.NE-S.SW.

Ce complexe granitique est recoupé par de nombreux filons (microgranite, porphyrite, kersantite et leucogranite...). Le leucogranite peut présenter des passées aplitiques ou franchement pegmatitiques. Il affleure sous forme de petits massifs intrusifs dans le granite de la Margeride qui contient également des enclaves vaugnéritiques imputables à des phénomènes tardi-magmatiques.

4.2-CONTEXTE GEOLOGIQUE DU LACCOLITHE DE GRANITE (COUTURIE, 1977)

Le massif granitique de la Margeride est donc un laccolithe intrusif dans des terrains métamorphiques où l'on distingue plusieurs unités géologiques

Sur sa bordure nord, le granite est en contact avec la série du Haut-Allier, étudiée dans son ensemble par Forestier (1964). Le métamorphisme principal de type "moyenne pression" à disthène-sillimanite est représenté par des termes méso à catazonaux, ortho et paradérivés (anciens sédiments schisto-gréseux et roches éruptives acides, basiques à ultrabasiques). Un second métamorphisme, mieux marqué dans la région orientale et survenant vraisemblablement après une période d'érosion, se traduit par le rajeunissement des amphiboles à 310 Ma (Cantagrel, 1973). Cette série se prolonge vers l'Ouest par celle de la Haute Truyère, à structure renversée et de caractères voisins étudiée par Restuito (1971).

Au Sud-Ouest du Cantal, qui masque les relations avec les séries précédentes, on rencontre les micaschistes de la Châtaigneraie entourant les petits massifs granitiques de

Veinazès, Marcoles et Omps-Boisset décrits par Vivier (1970) et qui présentent de grandes analogies avec le granite d'Entraygues. On retrouve ces micaschistes, dans lesquels le granite développe un métamorphisme de contact, au Sud de l'appendice d'Entraygues dans la série du Lot. Dans les épischistes de Saint-Geniès-d'Olt, une discordance a pu être mise en évidence entre ces micaschistes rétro-morphosés et une série grès-pélimitique monométamorphique (Kornprost et Poulain, 1972).

Plus à l'Est autour de Marvejols, la série, ici mésozonale et inversée, bien qu'essentiellement pélimitique, renferme un puissant horizon volcano-sédimentaire. Comme dans le Haut-Allier, la succession de deux épisodes métamorphiques a été reconnue, le second, de type basse pression et de faible intensité, paraît être postérieur à la mise en place du granite de la Margeride (Briand, 1973).

A l'Est des Causses s'étend le vaste ensemble micaschisteux des Cévennes qui renferme deux massifs de granite porphyroïde analogue à celui de la Margeride : Au Sud, le granite de l'Aigoual et ses annexes du Saint-Guiral et du Liron ont été étudiés par Didier (1964) et par Van Moort (1966). Il est affecté par la dislocation régordane, décrochement sénestre qui a remonté vers le Nord son extrémité orientale, isolant ainsi le petit massif de la Borne.

Plus au Nord, le granite autochtone du Velay et les schistes cristallins qui lui sont associés, constituent un vaste ensemble géologique qui s'inscrit dans un cercle ouvert du côté nord. La bordure occidentale qui touche la série du Haut-Allier, déjà citée et contre laquelle vient buter le granite de la Margeride, forme l'arc de Fix-Saint-Geniès où dominent les gneiss ocellés, en partie masqués par le recouvrement basaltique du Devès. Le métamorphisme principal affectant cette région et auquel se trouve lié génétiquement le granite du Velay est de type basse pression (Chenevoy et Ravier, 1968 ; Weisrod, 1968). Ce granite très particulier, renferme habituellement de la cordiérite en nodule et passe progressivement aux schistes cristallins catazonaux. Il est très chargé en enclaves de forme et de nature variées correspondant à des roches épargnées par l'anatexie : gneiss riche en biotite, amphibolite et roches éruptives plus anciennes (vaugnérite et granite porphyroïde).

4.3-GEOLOGIE DES GRANITES (DUTARTRE 1981 ET COUTURIE 1977).

4.3.1-Le granite de la Margeride

a - Description pétrographique macroscopique

De structure typiquement porphyroïde, c'est un granite calco-alkalin monzonitique à biotite. L'abondance de grands cristaux d'orthose de taille centimétrique lui ont valu l'appellation de "granite à dent de cheval". On le trouve également communément appelé "granite de la Margeride". Couturié (1977) distingue, selon la teneur en biotite modale dans la mésostase, trois types de faciès :

- un faciès clair (moins de 10% de biotite),
- un faciès moyen (de 10 à 20 % de biotite),
- un faciès sombre (plus de 20 % de biotite).

b - Description pétrographique microscopique

Le quartz : toujours présent sous forme de gros cristaux xénomorphes engrenés, il occupe, au milieu des autres minéraux, la place restée disponible. Une extinction roulante est presque toujours visible.

Les feldspaths : les feldspaths potassiques sont plus importants dans les faciès clairs que les plagioclases.

La biotite : elle est présente en quantité variable dans des proportions pouvant aller du simple au double. Elle est souvent altérée à sa périphérie en chlorite et renferme presque toujours des inclusions d'apatite et de zircon.

La cordiérite : elle est toujours rencontrée en association avec la muscovite.

La muscovite : elle est souvent associée à la biotite (Couturié, 1977, décrit un passage continu de la biotite à la muscovite). On la trouve également en grands cristaux dans les feldspaths potassiques et dans les plagioclases.

Les minéraux accessoires : outre la chlorite et les inclusions des biotites, on observe du sphène, du rutile, de la tourmaline et des oxydes.

c - Age de la mise en place

L'âge de mise en place du granite de la Margeride est de 323 ± 12 Ma soit le Namurien dans le Carbonifère (Couturié et al., 1979).

d - Les enclaves de vaugnérite

Il existe des enclaves de granodiorite et de vaugnérite. Si ces roches ne se trouvent pas exclusivement dans le faciès sombre du granite, elles y sont largement plus représentées et s'alignent selon une direction NE-SW qui coïncide avec une anomalie gravimétrique. Couturié l'interprète comme la trace de la racine du laccolithe granitique. Ces vaugnérites sont considérées comme des roches éruptives s'étant mises en place peu de temps après le matériel granitique qui était alors encore à l'état magmatique.

4.3.2-Les leucogranites

Les leucogranites occupent moins de 5% de la surface totale de la Margeride. Ils sont cependant assez bien représentés sous la forme de filons ou de petits massifs. Ces derniers sont toujours intrusifs dans le granite de la Margeride et peuvent contenir des enclaves de taille métrique de granite porphyroïde de type Margeride.

a - Description pétrographique macroscopique

Passant de façon continue des faciès aplitiques aux faciès pegmatitiques, tous les types de structures grenues sont représentés. Le faciès le plus courant est celui d'une roche à grain fin, de teinte claire, souvent très riche en muscovite. Les faciès pegmatitiques peuvent présenter des minéraux de taille assez spectaculaire. Ils montrent en particulier de grandes baguettes de tourmaline souvent regroupées en amas.

b - Description pétrographique microscopique

Le quartz : toujours xénomorphe, c'est le minéral le plus représenté. Il peut constituer jusqu'à 40% de la composition modale de la roche.

Les feldspaths : dans les pegmatites, le feldspath potassique apparaît en grands cristaux, souvent à caractère perthitique. Les plagioclases presque toujours automorphes, représentent environ le quart de la roche totale.

La biotite : sa teneur est assez variable et semble-t-il toujours inférieure à 5% de la roche totale.

La muscovite : présente dans tous les échantillons, elle est toutefois plus abondante dans les faciès grossiers où elle montre des cristaux bien développés, allant, dans les pegmatites jusqu'à être de taille centimétrique.

La tourmaline : de forme automorphe, elle est, à l'exception des faciès pegmatitiques et des amas en nodules, très dispersée dans la roche. Les petits cristaux en forme de baguettes sont toujours fortement craquelés, formant des réseaux de fissures non corrélables d'un minéral à un autre.

Les minéraux accessoires : zircon, apatite et cordiérite (rare) ont pu être observés. Couturié (1977) signale de l'andalousite dans une aplite de Tatula (feuille de St Chély-d'Apcher).

c - Age et mode de mise en place

Les leucogranites sont postérieurs aux divers faciès du granite de la Margeride, qu'ils recoupent et enclavent nettement. Ils ont été datés à 300 Ma.

D'après Couturié (1977), les grandes masses leucogranitiques proviendraient de la zone d'anatexie vellave. Celle-ci se prolongerait sous le laccolithe du granite de la Margeride. L'injection du magma leucogranitique se ferait en liaison avec une tectonique cassante contemporaine. La liaison des leucogranites et du granite de la Margeride apparaît comme structurale plutôt que génétique. Cette dernière hypothèse semble largement confirmée par la différence importante d'âge entre les deux types de granites (20 Ma), qui implique que le leucogranite n'a pu se mettre en place au sein du granite de la Margeride qu'à la faveur de cassures affectant ce dernier.

4.4-LES SYSTEMES FILONIENS (DUTARTRE, 1981)

4.4.1-Les filons d'aplite mélanocrate

Seul leur caractère nettement aplitique les différencie du granite de la Margeride, dont ils possèdent la même minéralogie et qui constitue leur unique encaissant. Antérieurs au leucogranite, ils se présentent sous la forme de petits filons de quelques centimètres à décimètres de largeur.

Ils présentent presque toujours de forts pendages (supérieurs à 75° dans la plupart des cas).

Ce premier type filonien qui ne présente pas de direction préférentielle nette, est assimilé à du remplissage tardi-magmatique de joints transverses.

4.4.2-Les filons de leucogranite

Les leucogranites (Couturié, 1977), occupent moins de 5% de la surface totale de la Margeride. Ils sont cependant assez bien représentés dans la région de Saint-Alban-sur-Limagnole où ils apparaissent sous la forme de filons ou de petits massifs. Les filons peuvent se présenter sous des faciès très variés allant d'un type très aplitique à un type franchement pegmatitique. On retient parmi les filons, les petites structures, avec des filons à grains moyens (grains de taille millimétrique), des filons aplitiques et des filons pneumatolytiques de longueur décimétrique à cœur de Toumaline. On distingue encore les grands filons leucocrates qui sont reportés sur les cartes géologiques à 1/50 000 de Saugues, Saint-Chély-d'Apcher et Mende.

4.4.3-Les microgranites

Recoupant le granite de la Margeride, ils constituent des filons de quelques mètres de puissance, atteignant exceptionnellement quelques dizaines de mètres (filon de St-Léger-du-Malzieu). Dans la région de Saint-Alban, ils s'allongent sur des distances variant d'une centaine de mètres à quatre kilomètres (filon du Viala).

a - Description pétrographique macroscopique

Ces roches affleurent principalement sous la forme de blocs arrondis, de teinte jaune clair, pouvant prendre parfois des tons rosés. La structure est de type microgrenue, plus ou moins porphyrique. D'après les observations de Couturié (1977), la taille des grains augmente avec la puissance du filon, qui montre toujours des bordures au faciès figé et à grains très fins (structure felsitique). D'assez gros cristaux bipyramidés de quartz transparent sont presque toujours visibles.

b - Description pétrographique microscopique

Les microgranites sont constitués de phénocristaux et d'une mésostase. Les phénocristaux montrent les caractères suivants :

- le quartz est automorphe et présente des cristaux millimétriques parfois accolés ;
- les feldspaths potassiques sont automorphes et fortement altérés sur leur bordure. Des cristaux de plusieurs millimètres de longueur ont été observés ;
- les plagioclases sont le plus souvent très séricitisés. En moyenne, il s'agit d'oligoclase proche de l'andésine (Couturié, 1977) ;
- la biotite est presque toujours chloritisée.

La mésostase est quartzofeldspathique (quartz, feldspath potassique, plagioclases sodiques) et contient de nombreuses paillettes de micas blanc d'altération.

c - Age et mode de mise en place

Les microgranites sont postérieurs au granite de la Margeride qu'ils recourent. Une observation ponctuelle d'un petit filon aplitique de leucogranite, traversé par un filon de microgranite (Est de Limbertes), confirme les observations de Couturié (1977) et Grandprat (1978) et leur assure un âge post-leucogranite, c'est à dire de 300 Ma. Cette argumentation structurale est renforcée par le caractère hypovolcanique de ces roches qui indique des conditions de mise en place plus superficielles que celles des leucogranites (Couturié, 1977).

4.4.4-Les kersantites

Ce sont des roches lamprophyriques, riches en biotite, donnant à la roche sa teinte plus sombre et son aspect brillant sur cassure fraîche. Couturié (1977) signale de rares filons de direction NE-SW, parallèle à celle de l'alignement d'enclaves de vaugnérites. D'après le même auteur, les kersantites antérieures aux filons de microgranite (une enclave de kersantite a été observée dans un filon de microgranite) se seraient mises en place à une profondeur moyenne, avec une pression de fluides assez élevée (abondance de la biotite et fortes teneurs en chlore et fluor).

4.4.5-Les porphyrites

Nettement plus abondantes que les kersantites, ces roches constituent des petits filons de quelques mètres de largeur, s'étendant dans la région de Saint-Alban-sur-limagnole, sur des distances variables, allant de la centaine de mètres à près d'un kilomètre et demi à l'Est de Le Mazel.

a - Description pétrographique macroscopique

La roche à patine roussâtre, de couleur gris verdâtre lorsqu'elle n'est pas trop altérée, présente un débit en petites boules caractéristiques et des cassures esquilleuses arrondies. Le grain est très fin, la structure le plus souvent doléritique est plus ou moins porphyrique.

b - Description pétrographique microscopique

Seuls les phénocristaux sont bien visibles.

- le quartz de forme globuleuse par la corrosion est toujours entouré d'une auréole réactionnelle de clinopyroxène ;
- le plagioclase est toujours fortement altéré en séricite et épidote ;
- le clinopyroxène est peu altéré. Il est présent sous la forme d'assez grands cristaux incolores.

La pâte est très altérée, constituée de plagioclases séricités en baguettes et de petites chlorites. Quartz et feldspaths potassiques occupent les interstices. Les minéraux accessoires suivants ont été observés : épidote, séricite, apatite, sphène et calcite.

De faciès paléovolcanique, leur chimie et minéralogie les rangent parmi les roches trachy-andésitiques quartziques.

c - Age et mode de mise en place

Si elles recourent nettement le leucogranite (Est de Limbertes), leur relation avec les microgranites n'est pas connue. Couturié (1977) propose une mise en place assez superficielle (faible pression des fluides) et une origine commune avec les vauugnérites et les kersantites. Le magma proviendrait de la "fusion de résidus de l'anatexie granitique". Tous les filons cartographiés dans la région de Saint-Alban-sur-Limagnole, présentent des épontes à fort pendage, toujours supérieur à 60°, de l'ordre de 80 à 90° pour la plupart.

4.4.6-Les quartz filoniens

L'étude des filons de la région de Saint-Alban-sur-Limagnole permet de distinguer à la suite de Grandprat et Jebrak (1978) trois grands groupes de quartz filoniens :

- les brèches tectoniques hypersilicifiées (B.T.H.) ;
- les complexes à quartz saccharoïde-silice brune ;
- les quartz pegmatitiques.

Il est toutefois à noter que si les associations de type "B.T.H." ou quartz pegmatitique sont assez clairement définies, les complexes à quartz saccharoïde et silice brune représentent un ensemble beaucoup plus flou où la silice brune peut être complètement absente au profit de jaspe calcédonieux ou de quartz cloisonnés.

a - Les quartz pegmatitiques

D'assez nombreux gisements de pegmatites en amas sont connus dans la région. Cicatrisant une grande fracture N.NE-S.SW, le filon des Pinèdes fait exception à la règle. D'une puissance d'une vingtaine de mètres, il est connu sur une longueur de plus de 1500 mètres, selon une direction constante (N 25° E). Le quartz gris clair montre des cassures esquilleuses à éclats gras caractéristiques.

b - Les brèches tectoniques hypersilicifiées

Les filons de la région de Saint-Alban-sur-Limagnole présentent des caractéristiques communes remarquables :

- ils sont de puissance globalement analogue et possèdent tous le même faciès de phase précoce qui laisse à penser qu'ils correspondent à une période d'ouverture initiale commune ;
- les phases d'ouvertures tardives sont marquées par : 1-Des filonnets ne présentant pas d'orientation préférentielle dans les filons N-S à NE-SW. 2-La succession, cristallisation en quartz en petits peignes, dépôt de calcédoine, cristallisation de quartz en macropeigne (dans le filon de la Roche) ;

- postérieurement aux phases d'ouvertures, suivies de cristallisations, ils subissent une fracturation assez intense. Sur le filon de la Roche ont été mesurées quelques fractures : N120°E et N75°E, avec toutefois des importances relatives différentes. Les mêmes directions de fractures ont été retrouvées sur le filon N-S de Saint-Alban.

c - Les filons à jaspe calcédonieux

De puissance semblable à l'affleurement (une dizaine de mètres), les filons de la région de Saint-Alban-sur-Limagnole ont des conditions de gisement assez comparables. Ils renferment des quantités notables de calcédoine. Macroscopiquement, la roche massive ne présente pas toujours de rubannements. En lames minces, les analyses montrent un jaspe calcédonieux recimentant des quartz en petit peigne, bréchifiés, témoins d'une première phase d'ouverture. Certains filons présentent des phénomènes de pseudomorphose d'une ancienne minéralisation de fluorine.

Il est donc envisageable de proposer une ouverture concomitante de ce type de filons, sans doute antérieure aux venues fluorées.

d - Comparaisons chronologiques à l'échelle régionale

L'observation de galets de quartz en peigne dans les sédiments oligocènes du bassin de Malzieu (Grandprat, 1978) et des blocs de silicifiat dans les argiles oligocènes du bassin de Saint-Alban, montre clairement que les filons de quartz de type B.T.H. sont ante Oligocènes.

Les datations radiochronologiques par la méthode K/Ar, effectuées sur les feldspaths potassiques contenus dans des filons B.T.H. et de fluorine, notamment dans le filon fluoré de Chavaniac-Lafayette (Haute-Loire), donnent une valeur moyenne de 194 + ou - 7 Ma, correspondant à l'âge Hettangien, âge généralement admis pour les gisements de fluorine de la bordure du Morvan. (Baubron et al., 1980). L'âge des filons calcédonieux, du fait de l'importance de leurs similitudes avec les filons fluorés de type Chavaniac (direction, indice de fluorine, proximité spatiale), permet de proposer un même âge de mise en place. La première phase d'ouverture (silicifiat avec évolution en quartz en petit peigne) serait alors anté-hettangienne.

4.5 - LES BASSINS OLIGOCENES ET LEURS REMPLISSAGES (DUTARTRE, 1981)

Les bassins d'effondrement de Saint-Alban-sur-Limagnole et du Rouget soulignent topographiquement le passage entre le plateau et les Monts de la Margeride. Bien visibles en photographie aérienne, les deux bassins présentent une disposition identique. Délimités à l'Est de façon rectiligne par des escarpements de faille (N-S pour le bassin de Saint-Alban où la faille longe le filon de quartz, N.NW-S.SE pour le bassin du Rouget), les sédiments oligocènes suivent à l'Ouest un tracé beaucoup plus sinueux, contournant les paléoreliefs. Cette disposition suggère un basculement asymétrique de blocs granitiques, dont le rejet vertical peut être estimé, d'après la valeur des points cotés de part et d'autre des failles et l'épaisseur moyenne actuelle des sédiments, entre 150 et 200 mètres.

a - les grès rouges de base

Ils constituent les premiers dépôts des bassins. Utilisés comme matériaux de construction et fortement affectés par l'érosion, seuls quatre placages subsistent dans la région de Saint-Alban-sur-Limagnole. Le plus important se trouve sous le village du Rouget et conserve encore aujourd'hui une bonne dizaine de mètres d'épaisseur. Ces grès sont essentiellement constitués par :

- des grains de quartz assez translucides, peu émoussés, indiquant un transport faible. Leur taille peut atteindre un demi centimètre de diamètre ;
- un ciment qui doit sa couleur rouge à des oxydes ferriques (produits d'altération des minéraux colorés du granite). Il est formé de kaolinite silicifiée qui confère au matériau un comportement mécanique fragile.

Ces dépôts sont liés aux premiers mouvements verticaux, amenant une forte érosion. Ils sont rattachés à l'Eocène terminal et à la base du Sannoisien (Deschamps, 1973 ; Gibert et Larroque, 1976). Ils sont considérés comme les témoins d'un paléosol latéritique (Couturié, 1972).

b - Les argiles rouges à kaolinite

Pratiquement entièrement disparues ou assimilées dans des sols actuels, il n'en reste que quelques traces mélangées à des éboulis récents qui reposent sur les grès rouges de base, au pied de l'escarpement de faille situé entre les villages de Chassefeyre et de Chinchazes.

cC - Les argiles sableuses bariolées

Constituants essentiels du remplissage sédimentaire des bassins, elles doivent leur nom à leur couleur ocre rougeâtre, parsemée de tâches lenticulaires grises à vert clair. La fraction sableuse entre pour moitié dans leur composition. Celle-ci contient des graviers millimétriques de feldspaths altérés et de quartz anguleux, témoins d'une érosion forte et d'un transport réduit. La fraction argileuse renferme un mélange de kaolinite et de montmorillonite (Coincon, 1972).

Dans le bassin de Saint-Alban-sur-Limagnole, ces argiles contiennent de très nombreux blocs du filon quartzeux qui le domine, blocs dont la taille, généralement de l'ordre de quelques décimètres cubes, peut atteindre exceptionnellement plusieurs mètres cubes.

Il faut signaler que sous ces argiles, Jodot et Rey (1949, 1956) ont découvert, un peu au Nord de Saint-Alban-sur-Limagnole, reposant sur des argiles vertes, des meulière et des calcaires lacustres fossilifères, à Striatelles, rapportées au Sannoisien supérieur (Rey, 1967). L'âge des argiles sableuses bariolées est donc Oligocène moyen, probablement Stampien inférieur (Coque-Delhuile, 1979).

4.6 - LES FORMATIONS DU MIOCENE A L'ACTUEL (DUTARTRE, 1981)

a - Les épandages de galets

D'assez nombreuses formations d'épaisseur plus ou moins pelliculaire, ont été rencontrées dans la région de Saint-Alban-sur-Limagnole, selon un axe grossièrement N-S passant par les villages de Ponges et de Chabannes-des-bois. Coque-Delhuille (1979) signale également des épandages de galets selon un même alignement méridien : Au Sud et au Nord de Chabannes-Plagnes et de part et d'autre de la Truyère, au Nord de la Rouvière.

La fraction grossière est constituée de galets roulés presque exclusivement siliceux (quartz, microconglomérat, calcaire des Causses silicifié). L'analyse de la matrice ocre plus ou moins rougeâtre de Chon-Gron (Coque-Delhuille, 1979) révèle :

- une fraction sableuse à quartz très prépondérant (80 à 90 %) et une quantité notable de feldspaths potassiques. La taille des grains est comprise entre 0,05 et 2 mm ;
- une fraction argileuse renfermant en proportions variables de la kaolinite et de la montmorillonite.

Ces épandages rapportés au Miocène (Coque-Delhuille, 1979) indiquent une mise en place par des eaux courantes venant du Sud (galets en provenance des Causses, alors en position topographique plus élevée).

b - Les venues basaltiques

Trois cônes basaltiques existent sur la carte de Saint-Chély-d'Apcher près du village de Nozières. Ils sont de type alcalin à olivine et sont datés par la méthode K/Ar de 3,8 + ou - 0,3 Ma, soit de l'extrême fin du Pliocène (Bellon, 1971). Plus au Nord, feuille à 1/50 000 de Saugues, il s'agit de véritables épanchements basaltiques. Près de Julianges, le basalte recouvre une surface de sept à huit kilomètres carrés. Il est à olivine et fournit un âge absolu de 7 Ma ; il est donc rapporté au Pliocène inférieur (Bellon, 1971).

Bien que certains affleurements montrent un débit en orgues caractéristiques (basalte de Nozières, feuille à 1/50 000 de Saugues), d'autres se présentent de façon plus massive, recoupés seulement par des fractures de fin de mise en place ou de refroidissement et par des diaclases tectoniques. Ces dernières constituent de grandes discontinuités planes et rectilignes, facilement reconnaissables des fractures de refroidissement ou de mise en place qui forment des ouvertures arrondies et sinueuses.

4.6.1-Les formations superficielles (Coque-Delhuille, 1979)

Les formations superficielles sont les témoins de changements climatiques considérables (paléoclimat chaud et humide antéoligocène, climat rigoureux et froid récent à actuel). Elles soulignent l'importance de deux paramètres principaux : la lithologie et la fracturation qui dirigent les processus d'altération et sont en grande partie responsables du modelé morphologique de la région.

a - les anciennes formations d'altération et de transport

Coque-Delhuille (1979) retient trois types de formations superficielles anciennes, antérieures à l'inscription du réseau hydrographique. Ce sont :

- les altérites évoluées ;
- les microconglomérats quartzeux ;
- les épandages de galets siliceux.

a1 - Les altérites évoluées

Ce sont des paléoaltérations météoriques d'extension spatiale très faible. Elles sont caractérisées par la présence des minéraux les moins altérables du granite (quartz et feldspaths potassiques représentent 60 à 75% de leurs composants) et une forte proportion d'argiles (la kaolinite constitue 60 à 80% de l'ensemble des minéraux argileux). Témoins d'un paléoclimat de type chaud et humide, elles seraient caractéristiques de l'ensemble de la surface antéoligocène. Coque-Delhuille rattache l'âge de ces formations au début de l'Eocène.

a2 - Les microconglomérats quartzeux

Ces formations semblent caractéristiques des surfaces de bas plateaux où quelques témoins subsistent. Ils auraient constitué une dalle siliceuse dont la formation se serait produite en trois étapes :

- altération intense du granite et formation d'altérites très évoluées à squelette quartzeux ;
- transport faible souligné par des grains peu émoussés ;
- silicification.

Localement, les microconglomérats recouvrent des formations d'altérites évoluées, mais sont antérieurs aux épandages de galets qui en renferment. Coque-Delhuille les rattache à l'Eocène, période caractérisée en France par le grand développement de dalles siliceuses d'origine continentale.

a3 - Les épandages de galets

Ces épandages sont constitués d'une fraction grossière essentiellement siliceuse, prise dans une matrice également riche en silice. L'étude morphologique de la fraction grossière montre qu'elle est constituée exclusivement de galets roulés.

Il est donc assez clair que ces épandages ont été mis en place par des eaux courantes. Une cartographie détaillée de ces formations conduit à penser qu'elles ont été déposées à l'intérieur d'un ample couloir dans le socle où s'est actuellement mis en place la Truyère. D'après le même auteur, trois générations successives d'épandages peuvent être distinguées :

- les épandages à galets allochtones du Stampien (Oligocène inférieur) ;
- les épandages principaux du Miocène ;
- les formations de remaniement du Pliocène.

b - Les altérations récentes

On peut successivement distinguer :

- les arènes in situ ;
- les formations de bas de pente.

b1 - Les arènes in situ

L'arénisation d'épaisseur pelliculaire dans les leucogranites devient très importante dans le granite porphyroïde notamment dans les zones d'intense fracturation où elle atteint communément une dizaine de mètres. Des arénisations en place le long des vallées montrent qu'elles sont postérieures au creusement de ces dernières. En se basant sur l'observation de sables micacés provenant d'arènes remaniées et reposant sous le basalte de Nozières (daté de 3,8 + ou - 0,3 Ma, soit de l'extrême fin du Pliocène, Bellon, 1971), Coque-Dhuile propose un début d'arénisation dès le Villafranchien.

b2 - Les formations de bas de pente

Elles sont constituées :

- de dépôts lités provenant de l'arénisation in situ des pentes ;
- d'éboulement de blocs englobés dans une matrice plus ou moins importante, témoignant d'un climat rigoureux, où les phénomènes de macrogélifraction et de cryoturbation jouent des rôles essentiels.

4.6.2-Les formations alluviales et les dépôts associés

a - Les alluvions récentes et actuelles

Sont regroupés sous cette appellation, les remblaiements à toit plan occupant le fond des vallées où serpentent des cours d'eau à débit notable. Fréquents sur le haut plateau granitique, ces dépôts se réduisent ailleurs à un étroit ruban au fond des thalwegs, le long du cours moyen des affluents de la Truyère (notamment le ruisseau d'Arconie). Le long de la Truyère elle-même, les alluvions fluviales ne constituent que des plages discontinues en rive convexe de quelques méandres. Quelques unes ont fait l'objet d'exploitations de sables et de graviers (Lanau, Chaliers). Le plus souvent, il s'agit d'arène granitique peu modifiée dont l'épaisseur n'excède pas 2,5 mètres (sondage du pont routier de Pont-Archat sur la Rimeize).

b - La tourbe

La présence de tourbe holocène est très générale sur tous les types de substrat, aussi bien sur les versants humides que sur les bas-fonds marécageux. Ce matériau n'est mentionné que sur les dépressions dont le drainage le fait apparaître sur une épaisseur significative (plus de 1 mètre). Les analyses polliniques (Beaulieu et al., 1985) révèlent que l'accumulation tourbeuse peut débuter, selon les sites, dès le début du Préboréal (10 000 B.P.: La Chaumette, Brameloup) ou seulement au début de l'Atlantique (8 000 B.P.: Montgros). Une seule tourbière fait actuellement l'objet d'une exploitation sur la carte de Nasbinals : Sogno-Verdo, près de Marchastel.

4.7 - LES GRANDES UNITES MORPHOLOGIQUES

4.7.1 - Mise en place

Point de départ fondamental de toute l'évolution géomorphologique, la surface postthercynienne infraliasique, fossilisée à de rares endroits sous des placages d'arkose du Rhétien (Sud de la Colagne) s'enfonce sous les Causses. La transgression liasique s'est probablement avancée beaucoup plus au Nord que ne le laissent paraître les derniers témoins sédimentaires. Sans doute assez peu épais, les sédiments se sont trouvés décapés lors de l'émersion fini secondaire et lors de l'élaboration d'une nouvelle surface d'aplanissement (Lapadu-Hargues in Grandprat), antérieure à la mise en place de petits bassins sédimentaires (Le Malzieu, Saint-Alban-sur-Limagnole, Le Rouget). L'âge Sannoisien inférieur (Coque-Dhuile, 1979) des sédiments les plus anciens, permet de dater la fin de cette période d'érosion entre l'Eocène supérieur et le début de l'Oligocène.

La formation des bassins est accompagnée de celle d'un horst d'une dizaine de kilomètres de largeur, appelé "horst de la Margeride", dans lequel on peut distinguer :

- au Nord, une disposition assez complexe, en gradins limités par des accidents N.NW-S.SE à NW-SE, plus rarement NE-SW ;
- au Sud, une structure moins fragmentée, de direction N.NE-S.SW, atteignant 1552 mètres, au point culminant des monts de la Margeride.

L'âge des sédiments des bassins montre que les grandes unités morphologiques sont liées à une tectonique relativement récente, dont les premiers mouvements apparaissent à l'Oligocène inférieur. Cependant, malgré les grands bouleversements du relief qui en ont résulté, les anciennes et vastes surfaces d'aplanissements ont laissé leur signature sur le modelé régional.

4.7.2 - Les variations locales du modelé : Les petites unités morphologiques

La monotonie de la pénéplanation antéoligocène est souvent rompue dans le paysage par des reliefs arrondis (reliefs résiduels), ou des dépressions (alvéoles).

a - Les reliefs résiduels

De petits reliefs résiduels, le plus souvent leucogranitiques, produisent au milieu de la monotonie des plateaux, des dénivelés de quelques dizaines de mètres, excédant rarement une centaine de mètres. Ils sont dus à l'érosion différentielle, causée par une altérabilité non identique des différentes sortes de granitoïdes.

On note en effet une altérabilité croissante depuis les leucogranites, les granites porphyroïdes "clairs", les granites porphyroïdes "sombres", jusqu'aux granites à grain moyen et à biotite (Coque-Dhuile, 1979).

Il faut noter que ces reliefs résiduels dominant d'une centaine de mètres au plus la surface antéoligocène, sont toujours dépourvus de dépôts sédimentaires secondaires. On peut donc penser (Grandprat, 1978) que les reliefs résiduels constituent des témoins plus ou moins érodés de la surface infra-liasique. A la fin du Crétacé et à l'Eocène, l'érosion a décapé les sédiments (s'ils existaient) et a élaboré une nouvelle pénéplaine quelques

dizaines de mètres, une centaine au maximum, en dessous de la précédente, laissant en place quelques massifs de roches résistantes.

b - Les alvéoles

Dues à l'érosion différentielle, facilitée par l'intensité locale de la fracturation et probablement en liaison avec l'activité hydrothermale (Grandprat, 1978), les alvéoles sont des dépressions arrondies, de contours sinueux. Elles proviennent du déblaiement de quantités énormes d'altérites. L'évidement des alvéoles, souvent supérieur à une centaine de mètres de hauteur, postérieur à la coulée de basalte de Nozières (3,8 + ou - 0,3 Ma), serait donc Quaternaire, Villafranchien inclus. Ce déblaiement important et rapide a probablement été largement facilité par l'action des eaux de fonte des glaciers de l'Aubrac (Coque-Dhuile, 1979).

4.8 - LES DONNEES GITOLOGIQUES (DUTARTRE, 1981)

Le granite de la Margeride n'a fait l'objet de véritables campagnes de prospection minières que depuis les années cinquante, avec en 1949 les premières recherches d'uranium par le CEA, poursuivies depuis 1954 par des sociétés privées. Dans les années 80, des campagnes de prospection B.R.G.M. et SOGEREM ont été entreprises pour la recherche de fluorine et des métaux de base.

4.8.1 - L'uranium

D'assez nombreux indices localisés dans le leucogranite ou au contact leucogranite-granite porphyroïde ont été relevés, en liaison avec des accidents tectoniques, mais seuls deux gisements ont donné lieu à des exploitations, aux Pierres plantées et au Cellier (la dernière a été fermée en 1991). Des recherches ont également été menées dans les bassins tertiaires et plusieurs petits gîtes sédimentaires ont fait l'objet de modestes exploitations.

4.8.2 - Le plomb

Les prospections du CEA ont conduit à la découverte d'indices de pyromorphite et de galène (Est de Rimeize, et Sud de Saint-Amans).

4.8.3 - L'étain et le tungstène

Des campagnes de prospection B.R.G.M. ont mis en évidence des indices de cassitérite et de wolframite près de Froid-Vialla. Sur la carte des gîtes minéraux à 1/500 000 du B.R.G.M. figurent en outre deux placers de cassitérite (Saint-Chély-d'Apcher et Aumont Aubrac).

4.8.4 - La fluorine

Découvert lors des campagnes de prospection du C.E.A., un premier indice lié à un filon quartzeux de direction N-S fut signalé au Sud d'Estables. Les indices furent multipliés par les campagnes de prospection B.R.G.M avec une grande structure quartzuse NE, minéralisée par endroits en fluorine barrée de quartz. Ils forment un district continu jusqu'à Langeac, le long de la faille de Saugues.

4.8.5 - Le quartz et les feldspaths alcalins

Il faut enfin noter l'importance locale des filons de pegmatites liés au leucogranite, exploités pour leurs feldspaths alcalins, ainsi que celle du quartz filonien utilisé dans la fabrication des alliages de ferro-silicium.

5. - L'évolution morphologique cénozoïque régionale et les systèmes alluvionnaires de la Truyère (De Goër, 1991)

La totalité du réseau hydrographique de la région est tributaire de la Truyère, sous-affluent de la Garonne, qui la traverse dans une vallée encaissée de 150 à 300 mètres dans le plateau gneissique de la région de Chaudes-Aigues, dans son parcours NNE-SSW, et le massif granitique de la Margeride, dans son tracé SE-NW. Toute l'histoire cénozoïque du paysage régional est gouvernée par la genèse de cet axe hydrographique, corrélativement à la création des hauts reliefs environnants : d'une part la surrection du massif granitique Margeride- Gévaudan, du côté Est, dont l'altitude atteint 1 550 mètres au Signal-de-Randon (feuille Saint-Chély-d'Apcher) ; d'autre part l'édification du strato-volcan cantalien, du côté nord-ouest, dont l'altitude atteint 1 850 mètres au Plomb-du-Cantal (feuille Murat). Cette histoire s'inscrit dans la quadruple problématique autour de laquelle tourne toute la morphogenèse du Massif central :

- l'évolution climatique de l'Eocène à l'actuel (évolution combinant le contexte général de l'Europe occidentale et les variations altimétriques locales) ;
- la création d'un système de fossés (rifting) lors de la période distensive oligocène, qui conditionne la première ébauche du réseau hydrographique ;
- le soulèvement général du Massif central, principalement à partir du Miocène supérieur, qui se traduit par une surélévation importante des horsts et une réactivation locale des fossés ;
- la construction des ensembles volcaniques majeurs, essentiellement aussi à partir du Miocène supérieur.

Ainsi en est-il de la création de la vallée de la Truyère dont la direction s'infléchit à hauteur de Garabit de NNW à WSW. Tous les auteurs depuis P. Glangeaud (1922) ont admis que la « proto-Truyère » miocène, calquée sur l'emplacement (pour partie certain, mais pour partie hypothétique) des fossés oligocènes, était initialement tributaire de l'Allier par le canal de l'Alagnon, avant d'être capturée au pliocène par un affluent du Lot.

5.1. - LES EVENEMENTS PALEOGENES

A cette époque, l'altitude générale restait vraisemblablement très faible, et le relief peu contrasté : c'est la surface « éogène », pour l'essentiel héritage peu modifié de l'aplanissement posthercynien. Ce n'est qu'à l'Eocène terminal-Oligocène basal que débute la réactivation du craton hercynien. Le socle granito-gneissique, débarrassé de sa couverture sédimentaire mésozoïque doit disparaître sous un manteau d'altérites de caractère tropical. Comme dans les limagnes méridionales, c'est la destruction de ce manteau qui est enregistrée dans le comblement de la première ébauche du fossé margeridien : « grès rouges » de Saint-Alban, « argiles rutilantes » à kaolinite seule de Vabres et Mentelières (feuille Saint-Chély, Saugues et Saint Flour).

Ce n'est qu'au cours de l'oligocène moyen que se dessine dans sa totalité le fossé margeridien, lors de la phase distensive majeure. Ce fossé s'étire sur plus de 80 km de longueur, depuis Saint-Alban (feuille Saint-Chély-d'Apcher) jusqu'à Saint Saturnin et Marcenat, feuille Riom-es-Montagnes), selon une direction brisée, d'abord NNW puis NW.

5.2.-LES EVENEMENTS NEOGENES

En ce qui concerne le fossé margeridien, l'étude de la feuille Saint-Flour y montre l'apparition, dès le début du Miocène supérieur, d'un axe fluviatile important : la proto-Truyère, installée dans un large chenal creusé pour partie dans les gneiss après désorganisation du fossé initial et déblaiement de la plus grande partie des sédiments oligocènes. Ceci traduit une surélévation déjà importante du socle, avec accentuation notable des pentes par rapport à la période précédente.

A partir de 8,5 Ma environ, s'ébauche donc, un système de drainage où se dessinent déjà les grandes lignes du réseau actuel, mais avec une différence fondamentale : ce système est scindé en deux bassins divergents, à peu près selon les deux moitiés ouest et est de la feuille Chaudes- aigues, de part et d'autre d'une ligne de partage des eaux Grandvals- Alleuze :

- du côté Est, la proto-Truyère, première apparue, coule toujours du SSE vers le NNW. Tributaire de l'Allier, elle transporte vers les Limagnes des matériaux méridionaux empruntés à la haute Margeride granitique et aux Causses calcaires ;
- du côté Ouest, une paléo-Truyère nouvellement constituée, prend naissance dans le Cantal à l'amont des Ternès. Elle s'écoule d'abord du NW au SE, selon le tracé actuel de la Jurolle. Puis elle se détourne vers le SW aux environs de Noux-la Rochette pour prendre un cours peu différent de la Truyère actuelle.

Ce double système fonctionne sans modification notable durant 5 Ma jusqu'au Pliocène supérieur. Durant cette période, sans exclure des recreusements momentanés, il manifeste une tendance générale au comblement, en sorte qu'on peut difficilement parler de concurrence entre les deux bassins.

C'est avant la fin de cette période de remblaiement que se produit la capture de la proto-Truyère par la paléo-Truyère, par disparition du seuil d'Alleuze et dérivation du cours inférieur du Bès.

5.3. - LES EVENEMENTS QUATERNAIRES

Le dernier événement important dans la morphogenèse locale sera, à partir du Pliocène terminal, la surélévation générale du Massif central, par rapport au niveau de base des grands cours d'eau, entraînant un encaissement généralisé du réseau hydrographique, de l'ordre de 300 mètres pour la Truyère. Ceci explique son tracé méandrique au fond d'une gorge profonde et dépourvue de plaine alluviale. D'après les indications fournies par les dernières coulées basaltiques du Sud-Cézallier et du plateau de Montchamp (feuille Saint-Flour), on peut situer autour de 2,5 Ma le début de ce creusement pour ce

qui concerne le bassin versant de l'Alagnon. Ce résultat n'est pas directement transposable au cas de la Truyère car il n'existe pas de coulées basaltiques assez jeunes pour renseigner sur les modalités de son creusement. Cela donne cependant un ordre d'idée.

Une conséquence majeure de cette profonde incision verticale est le déblaiement rapide des formations sédimentaires tertiaires (oligocènes, mais surtout mio-pliocènes), là où elles ne sont pas protégées par une couverture basaltique. Ainsi, l'action conjuguée de la Truyère, de l'Ander et du Bès n'a laissé subsister, le long de l'ancienne plaine d'inondation, que quelques placages discontinus des argiles calcaires, graviers quartzeux et « sables à chailles » (comme alluvions anciennes) qui le comblaient initialement sur 160 mètres d'épaisseur au moins.

Enfin, il faut rappeler que les glaciers quaternaires ont profondément marqué de leur empreinte le paysage des feuilles de Nasbinals et dans un moindre mesure Saint-Chély pour la haute Margeride. En ce qui concerne les autres feuilles de la région étudiée, les processus périglaciaires sont auteurs de retouches de détail dans le modelé des versants (éboulis, solifluxion).

5.4. - LES ALLUVIONS ANCIENNES ET RECENTES

En ce qui concerne les alluvions anciennes, il ne peut s'agir que de placages résiduels sur les massifs granitiques ou de formations protégées par des coulées basaltiques qui ont résisté à l'érosion régressive des cours d'eau au quaternaire. Ces systèmes forment quand même des objectifs hydrogéologiques non négligeables qui peuvent faire l'objet de prospection.

Pour les alluvions modernes, ils se cantonnent à d'étroits rubans de sédiments en fond de thalweg le long du cours de la Truyère et de ses affluents où ils forment des plages discontinues en rive convexe de quelques méandres (quelques unes ont fait l'objet d'extraction de sables et de graviers à Lanau et à Chaliers). Du point de vue lithologique, il s'agit d'arène granitique peu modifiée, dont l'épaisseur n'excède pas 2,5 mètres (sondage du pont routier de Pont-Archat sur la Rimeize). Ces dernières formations représentent d'un point de vue hydrogéologique des objectifs restreints mais qui peuvent avoir une importance locale non négligeable.

Il faut noter qu'en ce qui concerne les alluvions récentes, toute forme de « verrou » (filonien, structural, volcanique) au travers des vallées du bassin versant de la Truyère est susceptible d'accumuler des sédiments en position amont. Il est donc très intéressant, dans le cadre d'une valorisation de ces aquifères, de rechercher ce type de piège sédimentaire.

Conclusion

La Truyère prend sa source dans la montagne de la Margeride. Elle traverse ce massif en direction du NNW, jusqu'aux gorges de Garabit, puis oblique vers le SW pour aboutir à Entraygues. Le substratum de la région traversées par la Truyère dans la région étudiée est constitué par l'immense lentille (laccolithe) granitique de la Margeride d'âge carbonifère moyen (325 Ma). Le granite de la Margeride est donc un vaste laccolithe de 4 à 8 kilomètres d'épaisseur, étendu sur 3200 Km², intrusif dans les diverses séries métamorphiques qui l'entourent.

Les processus d'altération et les altérites (réservoirs potentiels principaux), liés à la lithologie et la fracturation sont en grande partie responsable du modelé morphologique de la région granitique.

Dans l'histoire paléogène, néogène et quaternaire de ce granite, on retiendra parmi les formations superficielles, les anciennes formations d'altération et de transport avec les altérites évoluées (paléoaltérations météoriques témoins d'un paléoclimat chaud et humide), les microconglomérats quartzeux (significatifs d'altérations intenses, de transport faible et de silicifications d'origine continentale) et les épandages de galets (d'origine fluviale ancienne vraisemblable), puis les altérations récentes (avec les arènes in situ et les épandages de bas de pente). L'histoire quaternaire du massif nous montre aussi l'importance de l'incision de la Truyère dans le massif (entre 150 et 300 mètres de variation du niveau de base) et la répartition spatiale des petits réservoirs alluvionnaires le long de son cours principal ou de ses affluents.

Toutes ces formations sont autant de réservoirs potentiels hydrogéologiques à prospecter en liaison notamment, pour les altérites, avec l'histoire structurale du massif et la disposition actuelle des contraintes. En effet, si les réservoirs sont essentiellement représentés par ces altérites, pour l'évaluation de la ressource, les drains potentiels sont les fractures ou les failles du substratum semi sous-jacent, en ouverture actuellement, qui permettent la libre circulation de l'eau.

Bibliographie

(Seules les références maîtresses sont rappelées. On trouvera dans les différents ouvrages cités de nombreuses références qui sont, par ailleurs, nommées dans le texte).

Bouchot V., Milési J.-P., Lescuyer J.-L., Ledru P. (1997) - Les minéralisations aurifères de la France dans leur cadre géologique autour de 300 Ma. Chron. Rech. min., 528, 13-62.

Briand B.G., Couturié J.P., Geffroy J., Gèze B. (1979) - Carte géologique n°862-Mende. Editions du B.R.G.M.

Coque-Delhuille B. (1979) - Les formations superficielles et leur signification géomorphologique dans les régions de roches cristallines : l'exemple des plateaux de la Margeride occidentale (Massif central français). Rev. Géol. Dyn. Géol. Phys., vol. 21, fasc. 2, p. 127-146

Couturié J.P. (1974) - Carte géologique n°814-Saugues « Margeride nord ». Editions du B.R.G.M.

Couturié J.P. (1974) - Carte géologique n°838-Saint-Chély-d'Apcher. Editions du B.R.G.M.

Couturié J.P. (1977) - Le massif granitique de la Margeride (Massif central français).. Thèse de doctorat es sciences de l'Université de Clermont. **De Goër de Herve A. et Burg J.P. (1991)** - carte géologique n°813-Chaudes-Aigues». Editions du B.R.G.M.

De Goër de Hervé A. (1994) - Notice de la carte géologique à 1/50 000 de la France. Feuille Nasbinals, n° 837. Editions du B.R.G.M. **Demange M. (1996)** - Une histoire géologique de la Montagne Noire. Première partie. Centre de recherches du patrimoine de Rieumontagne. Centre d'informatique géologique. Ecole des Mines 37, rue Saint-Honoré - 77305 Fontainebleau.

Dutartre Ph. (1981) - Etude de la fracturation du granite de la Margeride (région de Saint-Alban-sur-Limagnole - Lozère). Géométrie, cinématique, densité des fractures. Thèse de l'Université de Paris VI.

Faure M., Leloix C., Roig J.-Y. (1997) - L'évolution polycyclique de la chaîne hercynienne. Bull. Soc. géol. France, t. 168, n° 6, pp. 695-705.

Lapadu-Hargues P. (1948) - Les massifs de la Margeride et du Mont Lozère et leurs bordures. Thèse à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

Annexe VIII

LE STRAT P. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Légende de la carte géologique de synthèse du bassin versant lozérien de la Truyère. Echelle 1/100.000.- Rapport BRGM R 40223, 28 p..



Direction de la Recherche

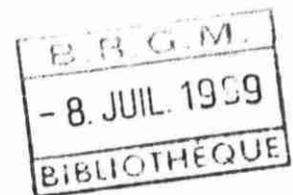
DOCUMENT PUBLIC

PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus

Ressources en eau Margeride Ouest

*Légende de la carte géologique de synthèse du bassin versant
lozérien de la Truyère*

Echelle à 1/100 000



Juillet 1998
R.40223



En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : LE STRAT P., 1998 - PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en eau Margeride Ouest. Légende de la carte géologique de synthèse du bassin versant hercynien de la Truyère. Rap. R.40223, 28 p.

© BRGM, 1998, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Sommaire

SOMMAIRE	2
1. FORMATIONS CRISTALLOPHYLLIENNES	4
1.1. ξ FORMATIONS MICASCHISTEUSES.....	4
1.2. UNITE PARA-AUTOCHTONE	4
ζ Unité para-autochtone de gneiss à biotite-sillimanite	4
1.3. UNITE ALLOCHTONE : GROUPE LEPTYNO-AMPHIBOLIQUE	5
ζλ Unité allochtone de gneiss leptynitique	5
οζ Gneiss oeilé parfois leucocrate (Orthogneiss) en intercalations acides	5
δ Amphibolites en intercalations basiques.....	5
2. ROCHES ÉRUPTIVES	7
2.1. py3 Granite monzonitique porphyroïde calco-alcalin à biotite (granite de la Margeride)	7
2.2. Relation du granite de la Margeride avec la série cristallophyllienne	8
2.3. py3b Granite monzonitique porphyroïde (faciès sombre) calco-alcalin à biotite.....	8
2.4. γ1 Leucogranite.....	9
2.5. γn Vaugnérites.....	10
2.6. η3 Diorite de Réquistat	10
2.7. γ3c Granite calco-alcalin à biotite et cordiérite (adamellite des Laubies).....	10
2.8. σγ2 Granite orbiculaire subalcalin.....	11
3. ROCHES FILONIENNES	12
3.1. γ1 Leucogranite subalcalin à muscovite et tourmaline	12
3.2. μγ Microgranite	12
3.3. Σα Porphyrite	13
3.4. Q Filon de quartz	13
3.5. γn Vaugnérites.....	13
4. TERRAINS SÉDIMENTAIRES	15
4.1. L LIAS SUR LA CARTE DE MENDE	15
4.2. JM JURASSIQUE MOYEN SUR LA CARTE DE MENDE	15
4.3. Js JURASSIQUE SUPERIEUR SUR LA CARTE DE MENDE.....	15
4.4. III DEPOTS TERTIAIRES.....	15
5. FORMATIONS VOLCANIQUES TERTIAIRES ET SÉDIMENTS ASSOCIÉS	16
5.1. VOLCANISME MIOCENE DE L'AUBRAC ET VOLCANISME PLIOCENE DISPERSÉ	16
β Basaltes.....	16
sβ Projections scoriacées (type strombolien) et scories soudées sur la feuille Nasbinals et Chaudes-Aigues.....	16
brβ Brèches polyolithologiques (type phréatomagmatique), sur la feuille Nasbinals et Chaudes-Aigues.....	17
hβ Tufs hyaloclastiques sur la feuille Nasbinals et Chaudes-Aigues	17
2/h Lahars et coulées de débris sur la feuille Chaudes-Aigues.....	17
6. FORMATIONS SUPERFICIELLES QUATERNAIRES	18
6.1. GY WÜRM : DEPOTS MORAINIQUES.....	18
6.2. FGY ALLUVIONS FLUVIO-GLACIAIRES	18
6.3. LGY WÜRM : DEPOTS LIMNO-GLACIAIRES	19

6.4. Fy ALLUVIONS ANCIENNES.....	19
6.5. GpO EPANDAGES PERIGLACIAIRES DE BLOCS ET CAILLOUTIS QUARTZEUX.....	20
6.6. E EBOULIS.....	20
6.7. Fz ALLUVIONS MODERNES.....	21
6.8. T TOURBE.....	21
6.9. E TERRE DU CAUSSE : ARGILES ROUGES. FORMATIONS RESIDUELLES TERTIAIRES ET QUATERNAIRES.....	21
6.10. Cz COLLUVIONS.....	22
7. ELÉMENTS TECTONIQUES.....	23
8. CONTOURS GÉOLOGIQUES.....	23
BIBLIOGRAPHIE.....	24

1. Formations cristallophylliennes

1.1. ξ FORMATIONS MICASCHISTEUSES

Ce sont des micaschistes francs, à grain fin à moyen, à plan de schistosité souvent très régulier et à débit facile qui justifie leur exploitation comme lauze. En certains endroits, des bancs plus riches en quartz, d'épaisseur centimétrique à métrique, alternent avec des niveaux plus franchement micaschisteux. La composition minéralogique est la suivante : quartz, biotite, muscovite, oligoclase, disthène, sillimanite, grenat, tourmaline, zircon, (cordiérite, andalousite). La cordiérite, complètement pinnitisée, se développe en "tâches d'huile" au sein des lits micacés, dans l'auréole de métamorphisme de contact du granite de la Margeride, en association avec l'andalousite beaucoup moins fréquente.

Il est établi que ces formations micaschisteuses passent sur le granite de la Margeride, dont elles constituent le toit. Elles sont toujours constituées d'une très étroite association de micaschistes phylliteux sombres et de bancs massifs décimétriques à métriques de micaschistes quartzeux plus clairs. Ce dernier terme peut localement devenir prédominant.

Les formations micaschisteuses portent la marque de trois déformations, la culmination métamorphique (d'âge dévonien supérieur à viséen inférieur : 350-340 Ma, Costa, 1989), étant tardi cinématique par rapport à la deuxième phase tangentielle (Briand et Gay, 1978 ; Pin, 1980 ; Burg et al. , 1984). L'âge des métadiorites encaissées dans ces formations (Cambrien inférieur, 540 Ma : Pin et Lancelot, 1978) permet de leur attribuer un âge précambrien probable.

A l'échelle du Massif central, cet ensemble micaschisteux est à rapporter à "l'unité inférieure de gneiss" (Ledru et al. , 1989). Il est superposé à un "complexe autochtone relatif" représenté, sur la feuille Saint Geniez, par un ensemble de schistes épizonaux. L'accident chevauchant séparant ces deux unités est le prolongement de celui connu plus à l'Ouest en Châtaigneraie (Bogdanoff et al. , 1989a et b) ; ce chevauchement n'a pas été directement daté, mais un âge viséen peut être proposé. Cet ensemble micaschisteux est lui-même chevauché par "l'unité supérieure des gneiss", représentée sur la feuille Mende par le "groupe leptyno-amphibolique" de Marvejols (Briand et Piboule, 1979 ; Pin et Lancelot, 1982 ; Bodinier et al. , 1988 ; Briand et al. , 1988). Un âge Dévonien supérieur à Viséen inférieur peut-être attribué à ce charriage (Pin et Lancelot, 1982 ; Costa, 1989).

1.2. UNITE PARA-AUTOCHTONE

ζ Unité para-autochtone de gneiss à biotite-sillimanite

Ils forment un ensemble nettement sous-jacent au groupe "leptino-amphibolique". Outre leur situation par rapport aux autres ensembles, les gneiss à biotite et sillimanite s'individualisent par leur lithologie, homogène à grande échelle, mais très variée dans le détail. En effet, dérivant d'une ancienne série sédimentaire grauwacko-pélimitique, ils

montrent fréquemment, au sein de gneiss à schistosité bien marquée, à cassure esquilleuse et patine brun rouille, des rythmes centimétriques de niveaux plus quartzofeldspathiques à débit leptynitique. Le type lithologique le plus répandu, reste un gneiss à quartz, oligoclase, orthose clastique plus ou moins transformée en microcline, biotite, sillimanite, grenat peu abondant, muscovite et minéraux accessoires. L'ensemble de ces roches se trouve au niveau d'apparition de l'isograde de la sillimanite.

1.3. UNITE ALLOCHTONE : GROUPE LEPTYNO-AMPHIBOLIQUE

ζλ Unité allochtone de gneiss leptynitique

Le terme lithologique le plus répandu, est un gneiss leptynitique d'origine vraisemblablement grauwackeuse, à grain fin, à débit en plaquettes d'épaisseur centimétrique et à foliation régulière. Il s'agit en général d'une roche claire, plus ou moins riche en biotite, à patine souvent jaune. Minéralogiquement, ce sont des roches à quartz, microcline plus ou moins séricitisé, plagioclase (oligoclase, également séricitisé), biotite, muscovite, grenats. De rares cristaux de hornblende verte et de la sillimanite peuvent parsemer la roche. Les principaux minéraux accessoires sont le zircon, l'apatite et le rutile.

οζ Gneiss ocellé parfois leucocrate (Orthogneiss) en intercalations acides

Deux masses orthogneissiques volumineuses s'intercalent dans les gneiss leptynitiques du plateau d'Alleuze : l'une entre Noux et Bennac, l'autre au Nord de Bessols. Elles ne diffèrent pas des nombreux septa résiduels de gneiss ocellés résiduels disséminés sur l'ensemble du groupe leptino-amphibolique. Ces roches sont interprétées comme les témoins tectonisés d'anciens granites porphyroïdes ; leur minéralogie est équilibrée dans la mésozone. Les yeux feldspathiques déformés sont dispersés dans une matrice quartzofeldspathique où quelques biotites et des rubans de quartz soulignent la foliation qui moule ces porphyroclastes. Les minéraux accessoires sont du zircon, du grenat, de la muscovite et des opaques.

Quelques rares intercalations de gneiss ocellés leucocrates semblent correspondre à d'anciennes venues granitiques d'origine différente. Il s'agit de gneiss ocellés où le quartz et la biotite sont peu abondants, et dans lesquels la muscovite apparaît comme un des minéraux magmatiques essentiels.

δ Amphibolites en intercalations basiques

Les amphibolites "banalisées" correspondraient pour nombre d'entre elles, à une rétro-morphose accusée de granulites basiques d'origine variée. Ces amphibolites alternent avec les gneiss encaissants et forment des bancs plus ou moins épais, toujours boudinés. Elles sont essentiellement formées de hornblende brun-vert, oligoclase-labrador, biotite et/ou phlogopite plus ou moins chloritisée, sphène et parfois grenat ; quartz, apatite, épidote, opaques et rutile constituent les principaux accessoires. Si beaucoup d'amphibolites "banalisées" proviennent de roches basiques rétro-morphosées (métagabbros, éclogites, péridotites), avec lesquelles elles présentent toutes les

transitions et une étroite association, il en existe néanmoins pour lesquelles aucun héritage de ce type n'a pu être démontré. Ces dernières ne seraient pas rétromorphiques mais correspondraient à des niveaux basiques variés, équilibrés seulement dans les conditions du faciès amphibolite.

2. Roches éruptives

2.1. py3 Granite monzonitique porphyroïde calco-alcalin à biotite (granite de la Margeride).

Il s'agit d'un granite de teinte générale gris clair, à gros grain (3 à 12 mm), renfermant des mégacristaux d'orthose blanche, à section rectangulaire, qui présentent systématiquement la macle de Carlsbad. Leur longueur, habituellement comprise entre 5 et 10 cm, peut exceptionnellement atteindre 16 cm. Sur le plateau, en dehors des régions englacées, le granite est fortement altéré sur une épaisseur qui peut atteindre une dizaine de mètres ; aussi n'y est-il visible que sous forme d'affleurements de grosses boules dégagées sur les petits reliefs. Les bons affleurements (feuille Nasbinals) sont localisés dans la vallée du Bès, ainsi que dans les régions décapées par l'érosion glaciaire, principalement au Sud d'une ligne joignant Saint-Urcize à Marchastel.

La composition minéralogique moyenne est la suivante : quartz, 35% ; oligoclase (An 38-12), 28 % ; orthose perthitique, 27 % dont 10 % sous forme de mégacristaux automorphes ; biotite magnésienne, 9 % ; minéraux accessoires : muscovite, cordiérite, apatite, zircon, ilménite, monazite, allanite. Cette composition est celle d'un granite monzonitique alumineux et potassique.

Dans ce granite, de caractère hyperalumineux, trois faciès principaux : clair, moyen, sombre, ont été distingués en fonction de leur teneur en biotite et de la basicité du plagioclase.

Dans le faciès clair, on observe une diminution de la quantité de biotite (5 %) un peu moins magnésienne, tandis que la cordiérite et la muscovite sont un peu plus abondantes. Le plagioclase est moins calcique (An 33-8) et l'orthose, en légère augmentation, s'exprime ici principalement sous forme de petits cristaux xénomorphes au détriment des mégacristaux, la structure porphyroïde de la roche ayant tendance à disparaître.

Dans le faciès moyen, la répartition des mégacristaux d'orthose est quelquefois irrégulière, avec des surconcentrations locales et des zones appauvries. Ils constituent des bons marqueurs de la structure magmatique qui est, au moins dans ce faciès, souvent difficile à observer directement à l'affleurement. Dans le granite, on observe quelques poches pegmatitiques isolées, généralement de taille décimétrique ou métrique (carrière de Bouquincan près de Marchastel), mais pouvant atteindre une taille beaucoup plus grande permettant une exploitation en carrière.

Le faciès sombre a été mis à part et fait l'objet d'une cartouche particulière.

Deux types d'enclaves, de taille centimétrique à décimétrique, peuvent être observées :

- des enclaves sombres et de forme arrondie, à grain fin et composition de diorite quartzite, riches en biotite, pouvant contenir des enclaves du type suivant ou des

mégacristsaux d'orthose identiques à ceux du granite encaissant. Cette dernière relation prouve la coexistence d'un magma basique, d'origine mantellique, avec le liquide granitique contenant déjà des phénocristsaux d'orthose,

- des xénolithes anguleux de cornéennes, provenant des terrains métamorphiques encaissants.

Le granite de la Margeride a été daté par différentes méthodes, qui donnent des résultats convergents (Namurien) :

- isochrone Rb/Sr sur roche totale : 323 + ou - 12 Ma pour $Sr.i = 0,714$ (Couturié et al., 1979) ;
- U/Pb sur monazite : 314 + ou - 3 Ma (Pin, 1979) ;
- U/Pb sur zircon : 335 + ou - 6 Ma (Respaut, 1984).

2.2. Relation du granite de la Margeride avec la série cristallophyllienne.

Dans la région de la feuille Chaudes-Aigues, le granite de la Margeride est intrusif dans les gneiss à biotite et sillimanite de l'unité allochtone, dans lesquels il développe un métamorphisme de contact discret, sans auréole de cornéennes. Le contact suit, ici, la direction générale de la foliation des gneiss, sous lesquels il plonge en conformité selon un pendage régulier de 30° environ vers le Nord-Ouest. Qu'ils aient été initialement concordants ou discordants, les "contacts entre granite et terrains encaissants ont souvent été l'objet de déplacements privilégiés ultérieurement à la mise en place du noyau granitique" (Lapadu-Hargues, 1948), en raison du comportement mécanique différent des deux types de roches. Il s'en suit que la ligne cartographique de contact, décrochée par une multitude de petites failles (en majorité NW-SE), prend un tracé général en baïonnette dans ce secteur de la feuille Chaudes-Aigues.

Sur la feuille Mende, le granite est intrusif dans les schistes cristallins dans lesquels il développe un métamorphisme de contact assez discret à cordiérite et andalousite. Au Sud-Sud-Est de Fabrèges, on peut voir un contact très caractéristique avec injections d'apophyses granitiques qui pénètrent sur quelques mètres dans les gneiss leptinitiques, mais en de nombreux endroits le granite est limité par des failles.

2.3. $\gamma 3b$ Granite monzonitique porphyroïde (faciès sombre) calco-alcalin à biotite

Dans une région située très approximativement à l'Est de la faille de Saugues, le granite s'enrichit en biotite et prend une teinte nettement plus sombre. Le plagioclase devient plus basique. La structure porphyroïde ainsi que la dimension des cristaux ne sont pas modifiées. On note cependant une tendance à l'orientation planaire des mégacristsaux et des biotites ainsi qu'une plus grande richesse en enclaves.

La composition modale du faciès sombre est la suivante : quartz, 29 % ; andésine (An 55-25), 33 % ; orthose, 20 %, dont 16 % sous forme de mégacristsaux ; biotite, 18 % ; à noter l'absence totale de cordiérite et de muscovite.

La limite entre les deux faciès (faciès clair et sombre) est approximative ; elle a été tracée à partir d'analyses géochimiques correspondant à des prélèvements espacés d'environ 5 km

2.4. γ 1 Leucogranite

Il s'agit de roches de teinte très claire, grisâtre ou beige rosé, à grain très variable d'un endroit à un autre, voire à l'intérieur d'un même gisement. Le plus souvent, le grain est moyen à fin, mais tous les intermédiaires existent entre les aplites et les pegmatites à cristaux décimétriques (parfois métriques). En raison de la finesse du grain et de leur plus grande richesses en quartz, les leucogranites résistent généralement mieux à l'érosion que le granite porphyroïde, au milieu duquel ils tendent à se mettre en relief. Ils ne forment jamais de boules, mais des blocs anguleux qui se conservent bien en "volantes" et peuvent être dispersés sur une large zone autour de la source, dont l'importance est, par suite, souvent surestimée cartographiquement.

La composition minéralogique des leucogranites (Lameyre, 1966), est la suivante : quartz (35 à 40 %) ; albite (20 à 37 %), zonée avec parfois oligoclase dans la partie centrale ; feldspath potassique (21 à 35 %) sous forme de microperthite et/ou de microcline ; muscovite (2 à 13 %) en petites paillettes ou en larges taches poecilitiques ; tourmaline, variété schorlélite (0 à 6 %) ; biotite (0 à 2 %) décolorée, verdie ou chloritisée et coexistant rarement avec la tourmaline. Minéraux accessoires : apatite globuleuse ou aciculaire, parfois bleutée ; cordiérite prismatique phyllitisée ; andalousite ; zircon très rare, opaques exceptionnels. La tourmaline, habituellement dispersée en petits cristaux, peut occasionnellement se concentrer en aiguilles jointives ou rayonnantes dans les pegmatites, ou encore former des nodules et des cocardes de diamètres pluricentimétriques, entourés par une bordure leucocrate.

Le gisement des leucogranites correspond à de nombreux filons de largeur décimétrique à décamétrique, diversement orientés, subverticaux ou subhorizontaux, impossibles à cartographier dans le détail. Ils constituent également des masses plus importantes affleurant sur des surfaces hectométriques à plurikilométriques. Dans ce cas, ces granites à muscovite remplissent des dislocations développées subhorizontalement dans le granite porphyroïde, par un processus que l'on peut qualifier de "tectonique en boîte à sucre" marqué par un jeu complexe de dominos. L'épaisseur des feuillets ainsi formés ne dépasse généralement pas quelques dizaines de mètres, mais peut atteindre, dans les ensembles les plus vastes 100 à 200 mètres.

Les leucogranites sont exploités en carrière à diverses fins économiques.

- Pierres de construction, en raison de leur teinte claire, de leur bonne résistance mécanique et de leur débit facile.
- Matériaux pour l'industrie céramique, les critères retenus étant la richesse en feldspaths alcalins et la faible teneur en fer. Des processus hydrothermaux secondaires interviennent dans certains cas pour transformer et valoriser le granite (Demange, 1975) : dissolution sélective quasi-totale du quartz, éventuellement

suivie par une métasomatose alcaline (albitisation ou feldspathisation potassique) qui modifie la composition des vides existants. Ces transformations peuvent également affecter le granite porphyroïde.

Sur le plan minier, les leucogranites peuvent contenir de l'uranium ; sa concentration est facilitée par leur aptitude à la fracturation, et dans certains cas par l'acquisition d'une porosité liée à l'épisyénitisation.

Des mesures géochronologiques par la méthode au strontium sur roche totale (Couturié et Vachette, 1980), ont permis d'attribuer aux leucogranites un âge stéphanien (298 + ou - 2 Ma avec $Sr.i = 0,713$), âge confirmé par la méthode U/Pb sur monazite : 305 + ou - 9 Ma (Lafon et al., 1986).

2.5. γn Vagnérîtes

Ce sont des roches éruptives, basiques, grenues, de composition à la fois potassique et magnésienne, de teinte sombre qui constituent de grosses boules, de taille décimétrique à métrique, enclavées le plus souvent dans le faciès sombre du granite de la Margeride (dans la région orientale du massif).

Le grain de la roche diminue avec la taille de l'enclave. Les plus grosses enclaves sont à grain moyen.

La composition minéralogique est variable ; elle correspond à des types granodioritiques à dioritiques.

A titre d'exemple, on peut citer l'analyse modale d'une granodiorite située dans la vallée de la Truyère, à l'Ouest du moulin de Linas : biotite (26 %), quartz (20 %), andésine zonée (An 50-25 ; 26 %), orthose (15 %), amphibole vert clair de la série trémolite-actinote (13 %), minéraux accessoires (apatite, chlorite, sphène, allanite).

2.6. $\eta 3$ Diorite de Réquistat

Signalée pour la première fois sur la carte de Collin, 1966, cette roche à grain moyen, de teinte gris verdâtre et à mouches de hornblende verte, constitue le sommet du puy des Arbres, 500 mètres à l'Est de Réquistat. Son extension latérale n'est pas connue, en raison de la couverture morainique. Au microscope, on distingue des plagioclases automorphes, zonés et très altérés, de la micropegmatite abondante et un peu de quartz. Les minéraux ferromagnésiens (30 %) sont constitués par de la biotite chloritisée et de l'amphibole. Minéraux accessoires : chlorite, épidote, calcite, apatite plus ou moins aciculaire, sphène et minéraux opaques. La texture à tendance doléritique et granophyrique, ainsi que le faciès paléovolcanique, rapprochent la roche de ce petit pluton des porphyrites, plutôt que des vagnérîtes (Couturié, 1977).

2.7. $\gamma 3c$ Granite calco-alcalin à biotite et cordiérite (adamellite des Laubies)

Ce granite intrusif dans les micaschistes, apparaît sur une faible surface dans l'angle sud-est de la carte à 1/50 000 de Mende. Il appartient à l'ensemble granitique du mont

Lozère et a été décrit par Van Moort (1966), sous le nom d'adamellite des Laubies. Il s'agit d'une roche à teinte claire, à grain moyen, qui renferme quelques mégacristaux de feldspath potassique irrégulièrement répandus et atteignant au maximum deux centimètres de longueur. La cordiérite apparaît sous forme de prismes allongés, généralement altérés, de couleur vert-noir et de 1,5 cm de longueur. L'adamellite renferme de nombreuses enclaves sombres, parfois de grandes dimensions, constitués par des granodiorites et des diorites quartziques.

2.8. σ_2 Granite orbiculaire subalcalin

Au Nord du signal de Randon, un granite particulier a été découvert par Couturié en 1972. La roche constitue de gros blocs, certains atteignant plusieurs mètres cubes, dispersés sur une superficie d'environ trois hectares.

Les orbicules, dont la grosseur varie depuis la taille d'une noix à celle d'une très grosse orange, sont régulièrement calibrés sur un même bloc. La composition des gros orbicules est de type syénitique.

Entre les orbicules, la mésostase est une aplitite à muscovite qui renferme des îlots pegmatitiques à tourmaline ainsi que quelques macrocristaux automorphes d'orthose, identiques à ceux du granite porphyroïde environnant.

Les petits orbicules, beaucoup moins espacés que les gros, conservent une structure comparable. Cependant le noyau qui garde souvent son aspect schisteux est quelquefois remplacé par quelques paillettes de biotite seulement ou par un cristal feldspathique. Dans la couronne interne, le plagioclase est différent, il s'agit d'oligoclase. Enfin, la couronne d'orthose, toujours présente, est beaucoup moins développée.

3. Roches filoniennes

3.1. γ 1 Leucogranite subalcalin à muscovite et tourmaline

Ces granites subalcalins de teinte claire sont caractérisés par la présence de muscovite (2 à 9 %), associée à de la tourmaline (0 à 5 %) ou de la biotite (0 à 2 %) qui coexistent rarement.

Le quartz est abondant (30 à 40 %) associé à un plagioclase acide (20 à 35 %) et au feldspath potassique (25 à 40 %). La structure très variable est de type isogranulaire généralement à grain moyen mais les types aplitiques et pegmatitiques sont représentés. Ces leucogranites se sont mis en place dans des dislocations des granites porphyroïdes qu'ils recoupent nettement sous la forme de plutons assez étendus et d'un réseau de filons omniprésents impossibles à cartographier dans le détail. Les leucogranites résistent bien à l'érosion et se mettent en relief par rapport aux granites porphyroïdes. Ils ne forment jamais de boules mais des blocs anguleux et des éboulis.

3.2. $\mu\gamma$ Microgranite

Le massif de la Margeride est traversé par plusieurs séries de filons de microgranite et rhyolite qui se distinguent, par leur structure, des aplites filoniennes du cortège leucogranitique. Grandes de 1 à 20 mètres, ils recoupent le granite porphyroïde comme les amas leucogranitiques, et se prolongent à l'extérieur du massif dans les terrains métamorphiques.

Ce sont des roches de teinte gris verdâtre à beige rosé, à patine rouille. La structure, de type microgrenue plus ou moins porphyrique, varie d'un filon à l'autre. Les phénocristaux y sont de taille et abondance très inégales (2 à 30 %) :

- quartz généralement abondant, et parfois seul minéral visible à l'œil nu, en cristaux subautomorphes bipyramidés à section hexagonale (2 à 6 mm) ou globuleux, souvent corrodés, isolés ou groupés,
- orthose à cristaux automorphes, quadrangulaires, de 2 à 5 mm (rarement centimétriques) maclé Carlsbad, faiblement perthitiques,
- plagioclase séricité (oligoclase proche de l'andésine),
- biotite : quelques minces paillettes, le plus souvent chloritisées, avec granules de sphène et épidote dans les clivages.

La pâte est constituée par une association d'oligoclase ou albite, FK et quartz. La muscovite est fréquente. Des mouches de sulfures sont parfois visibles. En bordure des filons, les phénocristaux disparaissent et la roche devient aphanitique, à pâte très fine.

Des analyses chimiques (Couturié, 1977), portant sur l'ensemble des micogranites des feuilles Chaudes Aigues, Saint Chély, Mende, Saugues montre qu'à une exception près, la teneur en K₂O est toujours supérieure à Na₂O. Les analyses peuvent être réparties en

quatre groupes dont le % SiO₂ varie de 63,1 à 74,2, pour une teneur en alcalins assez constante 7,3 à 8,3 %.

3.3. Σα Porphyrite

Ce terme désigne des roches filoniennes à faciès paléovolcanique et de composition andésitique. De couleur gris verdâtre, par suite de leur chloritisation, ces roches constituent des filons de largeur moyenne nettement plus faible que celle des filons acides, toujours inférieure à la dizaine de mètres, le plus souvent autour de quelques décimètres. Leur longueur varie de 100 mètres à trois kilomètres. En dehors des rares affleurements, ces filons se manifestent par des alignements de blocs arrondis à patine roussâtre, qui se débitent en écailles courbes.

La roche est généralement porphyrique. Les phénocristaux, de taille comprise entre 1 et 4 mm, sont constitués par du plagioclase altéré et d'anciens minéraux ferromagnésiens chloritisés (clinopyroxène reconnaissable dans certains cas). On note encore la présence de quartz globuleux entouré par une couronne de minéraux ferromagnésiens réactionnels. Le caractère "paléovolcanique" se traduit par le développement de nombreux minéraux secondaires

3.4. Q Filon de quartz

Les filons de quartz hydrothermal, de direction NE-SW, N-S et NW-SE, se sont installés dans les fractures du granite. Ils sont généralement discontinus et leur largeur n'excède pas quelques mètres. Le quartz est souvent blanc laiteux, ou parfois brunâtre. Dans ce dernier cas, la structure est de type haché. Il peut encore présenter un aspect massif, calcédonieux, bréchiq, caveux ou géodique.

Si la répartition des filons de quartz est plus large que celle des filons subvolcaniques auxquels ils sont fréquemment associés, elle n'en diffère pas fondamentalement : comme eux, hormis la région de Chaudes Aigues, elle ne débord guère les limites du granite de la Margeride. Si les filons quartzeux sont fréquemment plus ou moins parallèles aux faisceaux de microgranite et porphyrites (avec toutefois un éventail directionnel plus ouvert), il convient de remarquer que la direction SW-NE, très peu représentée dans le cortège acido-basique, est au contraire la plus fréquente pour le quartz.

Dernier né de tous les filons, le quartz peut recouper, interrompre et décaler aussi bien les filons leucogranitiques que les filons hypovolcaniques. Il convient de noter que pour des raisons de clarté cartographique, les filons, les failles et le quartz ont été séparés sur le dessin. Mais il n'est pas rare que nombre de filons de microgranite ont été rebroyés et silicifiés postérieurement à leur mise en place.

3.5. γn Vaugnérites

Ce sont des roches éruptives de teinte sombre qui constituent de grosses boules, de taille décamétrique à métrique, enclavées le plus souvent dans le faciès sombre du granite de la Margeride.

Le grain de la roche diminue avec la taille de l'enclave. Les plus grosses enclaves sont à grain moyen. La composition minéralogique est variable. Elle correspond à des types granodioritiques à dioritiques. A titre d'exemple, on peut citer l'analyse modale d'une granodiorite située dans la vallée de la Truyère, à l'Ouest du moulin de Linas.

Biotite : 26 % ; quartz : 20 % ; andésine zonée (An 50-25) : 26 % ; orthose : 15 % ; amphibole vert clair de la série trémolite-actinote : 13 % ; minéraux accessoires : apatite, chlorite, sphène, allanite.

4. Terrains sédimentaires

4.1. I LIAS SUR LA CARTE DE MENDE

Le lias comprend une grande tendance argilo-croissante et carbonato-décroissante. L'Hettangien est constitué par des calcaires jaunâtres, magnésiens alors que le Toarcien apparaît sous le terme classique des schistes cartons et des marnes. Le Sinémurien et le Carixien sont calcaires alors que le Domérien est déjà marneux.

4.2. Jm JURASSIQUE MOYEN SUR LA CARTE DE MENDE

Il s'agit d'une succession de marnes, de calcaires et de dolomies depuis l'Aalénien jusqu'au Callovien. L'Aalénien est le pôle argileux et le Bajocien avec le Bathonien constituent le pôle dolomitique.

4.3. Js JURASSIQUE SUPERIEUR SUR LA CARTE DE MENDE

Ce sont des calcaires argileux gris-clair, sublithographiques, en plaquettes, connus seulement sur une épaisseur de 20 à 30 mètres, sur le causse de Changefège, où il est le dernier conservé des terrains jurassiques.

4.4. III DEPOTS TERTIAIRES

Les dépôts tertiaires existent à la fois sur les cartes de Chaudes-Aigues et sur celle de Saint Chély-d'Apcher. Mais, c'est sur celle de Saugues qu'elles trouvent leur maximum d'extension.

Les formations sédimentaires de la feuille Chaudes-Aigues sont attribués, conformément à l'idée de P. Glangeaud (1922), tout d'abord à l'Oligocène moyen, puis au miocène supérieur. Les deux séries sont séparées par un hiatus de 15 à 20 Ma marqué par des mouvements verticaux et un déplacement des aires de subsidence. Si, la première, antérieure au volcanisme, a fourni aux environs de Saint-Flour de rares fossiles mammaliens, la seconde ne comporte que localement une flore foliaire et pollinique, et ne peut être stratigraphiquement calée qu'en fonction de ses interférences avec les formations volcaniques. Difficilement discernables à l'affleurement du fait de leur caractère assez uniformément argilo-graveleux, ces deux séries sont géographiquement nettement disjointes sur la feuille Chaudes-Aigues, contrairement à ce qui se produit plus à l'Est comme sur la feuille Saugues et plus au Nord sur la feuille Saint-Flour.

La colonne lithologique permet de différencier de bas en haut :

- les grès rouges de base (Eocène et Oligocène inférieur),
- les argiles vertes (faciès Sannoisiens soit de l'Oligocène inférieur),
- les silex et meulières (faciès Sannoisiens),
- les argiles sableuses bariolées (Oligocène moyen),
- les poudingues et grès du Malzieu (Oligocène supérieur),
- les argiles jaunes et "sables à chailles" (Miocène moyen? et supérieur?).

5. Formations volcaniques tertiaires et sédiments associés

5.1. VOLCANISME MIOCENE DE L'AUBRAC ET VOLCANISME PLIOCENE DISPERSÉ

β Basaltes

L'Aubrac est un vaste plateau basaltique de 450 km², s'étendant principalement sur les feuilles à 1/50 000 Entraygues-sur-Truyère, Nasbinals et Saint-Geniez-d'Olt, et débordant sur celles de Vic-sur-Cère et Espalion. La feuille Nasbinals est concernée pour 130 km², comportant essentiellement sa région axiale et sa retombée nord-est. Quelques coulées morcelées et pointements disséminés le prolongent sur le territoire granitique de la Margeride.

L'âge des éruptions de l'Aubrac est resté longtemps controversé. Une nouvelle synthèse aboutit aux conclusions suivantes : 90 % des laves de l'Aubrac, ont été émises en un temps très court, de l'ordre de 250 000 ans, autour de 7,5 Ma (Tortonien du Miocène). Un volcanisme précurseur s'est toutefois manifesté autour de 8,7 Ma (Tortonien) aux environs de Sainte Urcize ; un temps de latence de 1 Ma permet une érosion notable de cet ensemble précoce, de sorte que les coulées de l'ensemble principal viennent s'emboîter en contrebas. Ainsi, la quasi-totalité du volcanisme de l'Aubrac (feuille Nasbinals) se placerait dans le Tortonien supérieur, hormis quelques récurrences durant le Messinien (6 Ma).

Les mesures géochronologiques K-Ar ont conduit à placer à part, quelques intrusions et coulées basaltiques, dispersées sur le socle granitique, loin des marges aubraciennes. D'âge inférieur à 5 Ma (Zancléen du Pliocène), ces laves sont contemporaines des planèzes cantaliennes (feuille Chaudes-Aigues). On considère qu'elles doivent être rapportées, non à l'Aubrac, mais à une génération plus récente qualifiée par J.M. Cantagrel et J.C. Baubron (1983) de "volcanisme régional pliocène". Il s'agit d'émissions basaltiques, généralisées plus au Nord entre 6 Ma et 3 Ma (Zancléen), depuis les abords de la vallée de la Truyère jusqu'aux environs de la chaîne des Puys, et concernant simultanément les planèzes cantaliennes, la majeure partie du Cézallier, le substratum des Monts d'Ore, le Sillon Houiller et la vallée de la Sioule.

$s\beta$ Projections scoriacées (type strombolien) et scories soudées sur la feuille Nasbinals et Chaudes-Aigues

Longtemps considérés comme relativement exceptionnels en Aubrac, les produits dits "stromboliens" s'y révèlent au contraire d'une grande banalité, et constituent l'essentiel des pyroclastites. Il s'agit d'accumulations plus ou moins rythmiques de lapillis et blocs scoriacés (goutte et lambeaux de lave éjectés à l'état liquide), comportant en quantité variable des bombes fuselées. Le plus souvent altérées sur plusieurs mètres d'épaisseur, ces projections se manifestent en surface par une terre argileuse rouge.

brβ Brèches polyolithologiques (type phréatomagmatique), sur la feuille Nasbinals et Chaudes-Aigues

Lorsque de l'eau superficielle ou souterraine est impliquée dans les éruptions, le dynamisme se caractérise par une forte explosivité rythmique, accompagnée par une subsidence intracratérique. Très hétérométriques, les produits phréatomagmatiques sont le plus souvent bien stratifiés, voire lités, et généralement très indurés.

hβ Tufs hyaloclastiques sur la feuille Nasbinals et Chaudes-Aigues

Ces matériaux sont essentiellement constitués par des globules denses de verre basaltique anhydre, brun à noir, ou hydraté et jaune d'or, noyés dans une matrice elle-même constituée d'un agglomérat de microparticules de verre hydraté jaune. La mise en place de ces matériaux requiert une éruption dans une nappe d'eau libre de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de profondeur. Elle édifie des anneaux ou cônes de tufs volumineux, enracinés dans un diatrème conique relativement restreint.

2/h Lahars et coulées de débris sur la feuille Chaudes-Aigues

Les brèches à composantes essentiellement trachy-andésitiques, qui prédominent parmi les produits du strato-volcan cantalien (brèche andésitique de la littérature), ont fait l'objet de nombreux travaux depuis un siècle, mais les distinctions lithologiques et texturales, ainsi que les relations stratigraphiques en leur sein, sont encore mal assurées. Un lahar est une coulée boueuse à débris de roches volcaniques de toutes tailles, et qui affecte fréquemment les pentes raides et mal consolidées des volcans. Ces derniers sont très largement majoritaires sur la feuille Chaudes-Aigues. Ils apparaissent principalement, d'une part dans la vallée de l'Épic entre Farges et Rochegonde, d'autre part sur toute la marge méridionale de la planèze de Cézens-Pierrefort. On distingue les faciès "avalanche de débris" formée par une brèche non stratifiée, hétérolithique, remarquable par la taille des éléments inclus, fréquemment décamétriques avec une matrice riche en cendres fines et contenant des petites ponces à biotite et le faciès "coulée de débris" caractérisé par des mégablocs emballés dans une matrice boueuse claire, enrichie en cendres.

6. Formations superficielles quaternaires

6.1. Gy Würm : DEPOTS MORAINIQUES

Présents sur plus de la moitié de la feuille Nasbinals, les dépôts morainiques y constituent une couverture plus ou moins dispersée ou continue, d'épaisseur variable (quelques mètres en moyenne), témoignant de l'ennoiement total, lors de la dernière glaciation, de l'Aubrac et de son piémont oriental sous une calotte de plateau (ice-cap) de 200 mètres d'épaisseur au moins (Rousset, 1970 ; Veyret, 1978). La géométrie et les courants internes de cette calotte peuvent être relativement bien précisés par l'extension et la composition d'un épandage représentant pour l'essentiel une moraine de fond (basal till). Il convient toutefois d'envisager séparément le territoire volcanique aubracien, où les altitudes sont maximales et les dénivellations notables, et le territoire granitique.

Sur l'Aubrac basaltique, il s'agit de matériaux hétérométriques et hétéroclites, non stratifiés ni classés, dont les caractéristiques reflètent le comportement propre des divers types de basaltes vis à vis des agents de l'altération et de la désagrégation : matrice argileuse brune, quasi-absence de la classe granulométrique "sable", prédominance des graviers et blocs de dimension modeste. Le contingent "blocs" montre toujours la co-existence d'éléments subanguleux (minoritaires), émoussés et arrondis-patinés. Les stries y sont exceptionnelles, le matériel volcanique s'y prêtant mal faute d'un contraste suffisant de dureté.

Sur le piémont granitique margeridien, les caractères du dépôt sont quelque peu différents, et beaucoup plus constants. On pourra notamment les observer sur 4 mètres d'épaisseur dans la petite carrière de Ville-Vieille, 4 km au Nord-Ouest de Saint-Urcize le long de la D 65, un des rares endroits où la moraine ait été exploitée pour les besoins de l'empierrement. Il s'agit en quasi-totalité d'une moraine de fond (Veyret, 1978), mais elle reste presque partout meuble, le contingent argileux étant trop faiblement représenté pour permettre une bonne compaction. Ce caractère, reflète la structure largement grenue du granite de la Margeride, dont les produits d'arénisation ont alimenté une matrice sablo-graveleuse. Les blocs montrent systématiquement un mélange d'éléments granitiques et basaltiques, ces derniers plus fréquemment striés grâce à l'abondance des gros grains de quartz.

6.2. FGy ALLUVIONS FLUVIO-GLACIAIRES

Les dépôts fluvio-glaciaires sont toujours inclus à l'intérieur de la zone occupée par la calotte glaciaire, dont ils témoignent de la fusion et de la dissociation sur place. Comme pour les moraines, leur extension et leurs caractères sédimentologiques sont très différents sur les territoires basaltique et granitique.

Sur l'Aubrac basaltique (vallée du Ruols, de la Selves, du Rioumau et de Vayssaire), ils constituent des banquettes de superficie restreinte flanquant latéralement le ruban alluvial actuel qu'ils ne dominent le plus souvent que de 1 à 3 mètres. Les produits n'y sont observables qu'à la faveur de leur recoupement par un méandre. La fraction

sableuse y est généralement minoritaire, et les galets s'y caractérisent par leur forme parfaitement roulée, contrastant avec celle beaucoup moins évoluée des alluvions plus récentes.

Sur la Margeride granitique, où leur volume est important, les dépôts fluvio-glaciaires ont donné lieu à l'ouverture de nombreuses sablières, et constituent le principal matériau de carrière (notamment sur la feuille Nasbinals). On pourra notamment en observer d'excellentes coupes de 4 à 7 mètres de hauteur, à la faveur du Bès de Marchastel à la Chaldette. Ces produits ont fait l'objet d'études sédimentologiques détaillées de M. Poizat (1973) et M. Poizat et C. Rousset (1975), qui les englobent sous l'appellation générale de "dépôts glacio-lacustres". Ils se présentent généralement sous la forme d'alternances d'horizons de sables gris plus ou moins fins, très souvent inclinés suivant un angle de 20 à 25°. L'inclinaison des sets, et la stratification entrecroisée conduisent à mettre ces formations en parallèle avec des accumulations de type deltaïque, à niveaux inclinés de "foreset" et niveaux superposés horizontaux de "topset". Ces derniers peuvent être localement très enrichis en graviers et galets grossiers, bien roulés et calibrés. La présence de gros blocs de granite, de l'ordre du mètre cube, piégés dans des dépôts sableux signe un transport par des radeaux de glace en période de dégel. Des structures de chenaux, discordantes sur l'ensemble du dépôt et recouvertes par un mince manteau morainique, prouvent l'instabilité de la zone marginale glaciaire, soumise lors de la récession à des oscillations progressives et régressives.

6.3. LGy WÜRM : DEPOTS LIMNO-GLACIAIRES

Cette mention n'a été portée que sur critère morphologique, pour désigner, à priori, le comblement supposé d'anciennes dépressions. Aucune coupe n'a été observée dans ces produits supputés glacio-lacustres. Les recherches de pollens de J.L. Beaulieu et al (1985) permettent d'affirmer que l'Aubrac était totalement et définitivement déglacé au moins dès la fin du Pléniwürm (15 000 ans B.P.) (Etlicher et Goër, 1988) : La dissociation de la calotte a dû laisser place à un paysage abondamment pourvu de lacs peu profonds, dont le comblement a dû débuter rapidement dès la phase de fusion, pour se poursuivre dans les temps tardi et postglaciaires. Dans les sondages les plus profonds (Les Sahliens, Brameloup, La Chaumette sur Nasbinals), il apparaît qu'à une sédimentation d'argiles inorganiques durant la fin du Pléniwürm et le Dryas ancien (>13 000 B.P.), succèdent à partir du Bölling (13 000 B.P.env.) des vases riches en matière organique épaisses de 1,5 à 5 mètres, qui font place à des tourbes à partir du Préboréal (10 000 B.P.).

6.4. Fy ALLUVIONS ANCIENNES

Sur la carte de Nasbinals, ce sont les alluvions qui forment les quelques lambeaux de terrasses perchés 5 à 10 mètres au-dessus de la plaine alluviale actuelle, le long du cours de la Crueize et de la Rimeize, à l'Est du territoire englacé. Ils sont considérés comme contemporain de la glaciation Würmienne.

Sur la carte de Saugues, ce sont les alluvions fluviales (sables, sables à chailles) qui constituent le sommet du remplissage du bassin du Malzieu avant les éruptions

basaltiques. Près de la Vessière et de Chaulhac, des sablières entament le talus sous-basaltique, épais d'une quinzaine de mètres, formé par des alternances de sables grossiers et de graviers à stratifications entrecroisée. P. Bout (1961) signale des minéraux d'origine volcanique dans les niveaux supérieurs de ces sables qu'il assimile aux sables villafranchiens du Velay.

A ces alluvions anciennes, il convient de rattacher les "sables à chailles" d'âge incertain signalés par Ph. Glangeaud (1922). On peut les observer à l'Est de Paladines où ils s'étalent sur le socle et sur l'Oligocène qu'ils ravinent. Ces sables renferment des galets de quartz filoniens, des silex oligocènes de type local ainsi que quelques fossiles jurassiques silicifiés. Ces fossiles témoignent de l'extension des sédiments jurassiques dans l'ancien bassin de la Truyère. Leur présence dans le bassin de Saint Flour a permis à Ph. Glangeaud d'affirmer que la Truyère miocène rejoignait l'Allier par l'intermédiaire de l'Allagnon.

6.5. GPo EPANDAGES PERIGLACIAIRES DE BLOCS ET CAILLOUTIS QUARTZEUX

Dans la région surélevée du granite de la Margeride, au Sud-Ouest de Bacon, entre 1 100 et 1 150 mètres d'altitude, et en bordure de l'aire englacée, au Sud de Masseloup, entre 1 135 et 1 195 mètres d'altitude, la surface granitique disparaît sous un manteau continu de débris de quartz filonien dispersés sur des superficies respectives de 3 km² et de 1 km². Manifesté en surface par un épandage de gros blocs de quelques décimètres cubes, ce recouvrement est constitué d'un cailloutis quartzeux anguleux, emballé dans une matrice argilo-sableuse de teinte jaunâtre. Son épaisseur varie de 1 à plus de 3 mètres. Il est alimenté pour partie par un gros filon bien apparent sur la ligne de faite, mais traduit aussi l'existence sous-jacente d'un lakis filonien plus complexe et non affleurant. L'éclatement du quartz est imputable à la gélifraction, et la dissémination des fragments à la reptation nivale. Classique autour de nombreux ensembles quartzeux hydrothermaux de la Margeride (feuille à 1/50 000 de Saugues, Saint-Chély, Chaudes-Aigues), une telle formation doit représenter pour l'essentiel un héritage de la dernière période froide, dont la nivation actuelle perpétue tout au plus la lente reptation vers les fonds colluviaux.

6.6. E EBOULIS

Les granites constituent rarement des reliefs assez accusés pour donner naissance à d'authentiques talus d'éboulis. Les hautes croupes leucogranitiques n'en sont toutefois pas exemptes. Ils sont constitués par une accumulation de blocs de taille variable et sont dominés par des roches susceptibles de se déliter facilement sous l'action des agents atmosphériques (poudingue du Malzieu, leucogranites, basaltes). Des éboulis de pierrailles revêtent aussi les talus au pied des reliefs, souvent abrupts de failles, des schistes et granites du socle ancien.

Ce sont les basaltes et les calcaires qui fournissent l'essentiel des dépôts notés E.

En ce qui concerne les basaltes, l'aspect extérieur de ces formations, la dimension moyenne des blocs, la présence d'une matrice fine varient considérablement selon le débit, la fissuration et l'altérabilité de la roche mère, y compris d'un point à un autre d'une même coulée.

En ce qui concerne les calcaires, les éboulis de pierres, accompagnés de blocs plus importants, généralement peu ou pas cimentés, revêtent les talus au pied des reliefs des Causses.

6.7. Fz ALLUVIONS MODERNES

Cette notation regroupe tous les remblaiements à toit plan occupant le fond des vallées où serpentent les cours d'eau à débit notable. A peu près inexistant sur les planèzes basaltiques, plus fréquents sur les hauts plateaux granitiques, ces dépôts se réduisent à un étroit ruban en fond de thalweg, le long du cours moyen des affluents de La Truyère. Le long de la Truyère elle-même, les alluvions fluviales ne constituent que des plages discontinues en rive convexe de quelques méandres. Il s'agit d'arène granitique peu modifiée (sables, graviers, galets) dont l'épaisseur n'excède pas 2,5 mètres (sondage du pont routier de Pont-Archat sur la Rimeize, feuille de Saint-Chély d'Apcher). Ces formations n'ont été cartographiées que lorsqu'elles présentent une extension remarquable : bassin du Malzieu et plaine de Saugues par exemple. Quelques unes ont fait l'objet d'extraction de sables et graviers (Lanau, Chaliers). Le peu d'alluvions le long de La Truyère est essentiellement dû à la surélévation générale du Massif central à partir du Pliocène terminal. L'encaissement généralisé des cours d'eau (évalué à 300 mètres pour La Truyère), lié à cette surrection explique son tracé méandrique au fond d'une gorge dépourvue de plaine alluviale.

6.8. T TOURBE

La présence de tourbe holocène est très générale sur tous les types de substrat, aussi bien sur les versants humides que sur les bas-fonds marécageux. En altitude, au-dessus de 1 000 à 1 100 mètres, les tourbières se sont développées dans des dépressions liées à des accidents tectoniques. Il s'agit le plus souvent d'une formation superficielle pelliculaire. Aussi ce matériau n'a été cartographié que sur les dépressions dont le drainage fait apparaître les tourbes sur une épaisseur d'au moins 1 mètre. Cette épaisseur peut atteindre 7 mètres dans le forage de Brameloup (feuille de Nasbinals). Les analyses polliniques (Beaulieu et al., 1985) révèlent que l'accumulation tourbeuse peut débuter, selon les sites, dès le début du Préboréal (10 000 BP : Brameloup, la Chaumette sur la feuille Nasbinals) ou seulement au début de l'Atlantique (8 000 BP : Montgros, feuille de Nasbinals).

6.9. E TERRE DU CAUSSE : ARGILES ROUGES. FORMATIONS RESIDUELLES TERTIAIRES ET QUATERNAIRES.

Il s'agit surtout d'argiles rouges très impures (terra rossa), qui proviennent pour partie d'une décalcification in situ des calcaires jurassiques et pour partie de l'apport de matériaux originaires des massifs cristallins et cristalloyphylloïdes avant le creusement des vallées (les grains de quartz parfois abondants le démontrent).

L'ensemble de ces formations résiduelles occupe la quasi-totalité des fonds de dolines et une grande partie des têtes de vallées sèches et replats des causses. Théoriquement, leur genèse peut avoir débuté dès l'émergence de la région au Crétacé inférieur. Il est probable qu'elles ont eu une grande extension lors de la pénéplanation antélutétienne. Mais leur répartition actuelle a dû être acquise surtout pendant le Néogène, avec des remaniements encore plus récents puisqu'ils se montrent liés aux reprises karstiques quaternaires et peut-être localement actuelles.

6.10. Cz COLLUVIONS

Sous cette appellation très générale sont englobés tous les dépôts qui garnissent et colmatent les dépressions mal drainées, entonnoirs de source, talwegs, bas de versants, ainsi que ceux qui comblent le cours amont des ruisseaux où les apports latéraux prédominent largement sur les apports longitudinaux (dans ce dernier cas, la transition aux alluvions Fz est la plupart du temps très progressive). L'épaisseur observée peut varier de 1 m à 5 m.

Si les blocs n'en sont pas exclus, notamment les grosses boules en pays granitique, ces formations se caractérisent généralement par une matrice argilo-sableuse sur substrat granitique. Cette matrice retient l'humidité, en sorte que les colluvions se manifestent en surface par une végétation hygrophile, voire palustre. Les matériaux qui les alimentent sont, pour l'essentiel, fournis par la désagrégation des terrains environnants.

7. Eléments tectoniques

Zone broyée : zone hachurée

Faille visible : trait plein

Faille masquée ou supposée : trait en tireté

Faille normale : trait plein avec barbules du côté abaissé

Zone de chevauchement : trait plein avec pointes du côté de la partie chevauchante

8. Contours géologiques

Contour visible : trait plein

Contour supposé : trait en tireté

Bibliographie

Seules les références maîtresses sont rappelées. On trouvera dans chaque document cité une liste bibliographique plus complète

Cartes géologiques de la France

Briand B.G., Couturié J.P., Geffroy J., Gèze B., (1979) Carte géologique n°862 - Mende. *Editions du B.R.G.M.*

Couturié J.P., (1974) Carte géologique n°814 - Saugues " Margeride nord ". *Editions du B.R.G.M.*

Couturié J.P., (1974) Carte géologique n°838 - Saint-Chély-d'Apcher". *Editions du B.R.G.M.*

De Goër de Herve A. et Burg J.P., (1991) carte géologique n°813 - Chaudes-Aigues". *Editions du B.R.G.M.*

De Goër de Herve A., (1994) Carte géologique n°837 - Nasbinals". *Editions du B.R.G.M.*

Annexe IX

WYNS R. (1998) - PRD 324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur) des arènes granitiques du bassin versant Lozérien de la Truyère.- Rapport BRGM R 40191, 18 p., 9 fig., 4 pl. h.t..



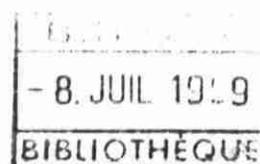
DOCUMENT PUBLIC

PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus Ressources en eau Margeride Ouest

***Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur)
des arènes granitiques
du bassin versant lozérien de la Truyère
(Lozère, Massif Central)***

R. Wyns

août 1998
R 40191



Mots clés : Hydrogéologie des milieux fissurés, Socle cristallin, Lozère, Massif Central, Altération, Arène granitique.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Wyns R. (1998) - Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur) des arènes granitiques du bassin-versant lozérien de la Truyère (Lozère, Massif central). Rap. BRGM R 40191, 18 p., 9 fig., 4 pl. h.t.

© BRGM, 1998. Ce document ne peut être reproduit en totalité sans l'autorisation expresse du BRGM.

Résumé

La présente étude a permis de réaliser, sur le bassin-versant lozérien de la Truyère (Lozère, Massif central), d'une superficie de 724 km², une modèle géométrique de la répartition, de l'altitude et de l'épaisseur des arènes préservées ainsi que de l'horizon fissuré sous-jacent.

Les altérites, élaborées sous climat tropical à l'Eocène, comprennent plusieurs dizaines de mètres d'arènes granitiques lorsque le substratum est le granite porphyroïde de Margeride. Sous les arènes, la partie supérieure du bed-rock est caractérisée, sur plusieurs dizaines de mètres également, par une fissuration acquise par éclatement de la roche au stade précoce de l'altération.

Les différents horizons du profil d'altération, scellés par le remplissage sédimentaire des grabens oligocènes, ont été faillés et basculés lors de la tectonique tertiaire. A partir du Miocène et jusqu'à l'Actuel, l'érosion a incisé cet ensemble, déblayant une partie importante des arènes, et atteignant le bed-rock sous l'horizon fissuré dans les vallées les plus profondes.

Les données issues de cette étude sont destinées, par analyse combinatoire avec d'autres données au sein d'un Système d'Information Géographique, à délimiter des zones favorables à la recherche de ressources en eaux souterraines.

Sommaire

1. Introduction	6
1.1. Contexte et objectif de l'étude	6
1.2. Conditions de réalisation	7
2. Origine, âge et typologie des altérations	8
3. Méthodologie et résultats	13
3.1. Principe de la modélisation	13
3.2. Carte hypsométrique du mur des arènes	13
3.3. Carte de l'épaisseur d'arènes in situ	14
3.4. Cartes de l'épaisseur de l'ensemble arènes in situ + zone fissurée	16
4. Conclusion	17
Bibliographie	18

Liste des figures

Fig. 1 - Zone d'étude (en mauve) et itinéraires de reconnaissance	6
Fig. 2 - Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique	9
Fig. 3 - Partie supérieure de la zone fissurée dans le granite de Mortagne (Vendée) ..	10
Fig. 4 - Arène feuilletée à boules, granite de Margeride, Trémoulouzet (Le Bacon)	11
Fig. 5 - Arène feuilletée (détail de la fig. 4)	12
Fig. 6 - Fissuration horizontale affectant un filonnet de quartz dans les arènes feuilletées (détail de la fig. 5)	12
Fig. 7 - Histogramme des épaisseurs d'arènes préservées	14
Fig. 8 - Histogramme de l'épaisseur cumulée arènes + zone fissurée pour une zone fissurée estimée à 30 m	15
Fig. 9 - Histogramme de l'épaisseur cumulée arènes + zone fissurée pour une zone fissurée estimée à 40 m	16

Liste des planches hors-texte

PLANCHE 1 - Carte de l'altitude de la base des arènes

PLANCHE 2 - Carte de l'épaisseur des arènes (incluant le remplissage tertiaire des grabens)

PLANCHE 3 - Carte de l'épaisseur cumulée des arènes et de la zone fissurée (épaisseur de la zone fissurée supposée égale à 30 m)

PLANCHE 4 - Carte de l'épaisseur cumulée des arènes et de la zone fissurée (épaisseur de la zone fissurée supposée égale à 40 m)

1. Introduction

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans le cadre de la convention d'assistance scientifique et technique "Connaissance et aide à la gestion des eaux, ressources en eau de la Margeride ouest", qui constitue l'un des volets du projet de recherche et développement PRD 324 du BRGM ("Hydrogéologie des aquifères discontinus"). Elle a pour objet de réaliser un modèle géométrique de la répartition, de l'altitude, de la lithologie et de l'épaisseur des arènes granitiques et des horizons fissurés liés à l'altération. Ce modèle de données constitue un des éléments de base de la connaissance de la structure hydrogéologique des aquifères du socle du bassin-versant lozérien de la Truyère. Combiné à d'autres données au sein d'un SIG, il permettra, par analyse multicritères, de réaliser une carte des potentialités en eaux souterraines du socle, dans le cadre de la première phase du projet.

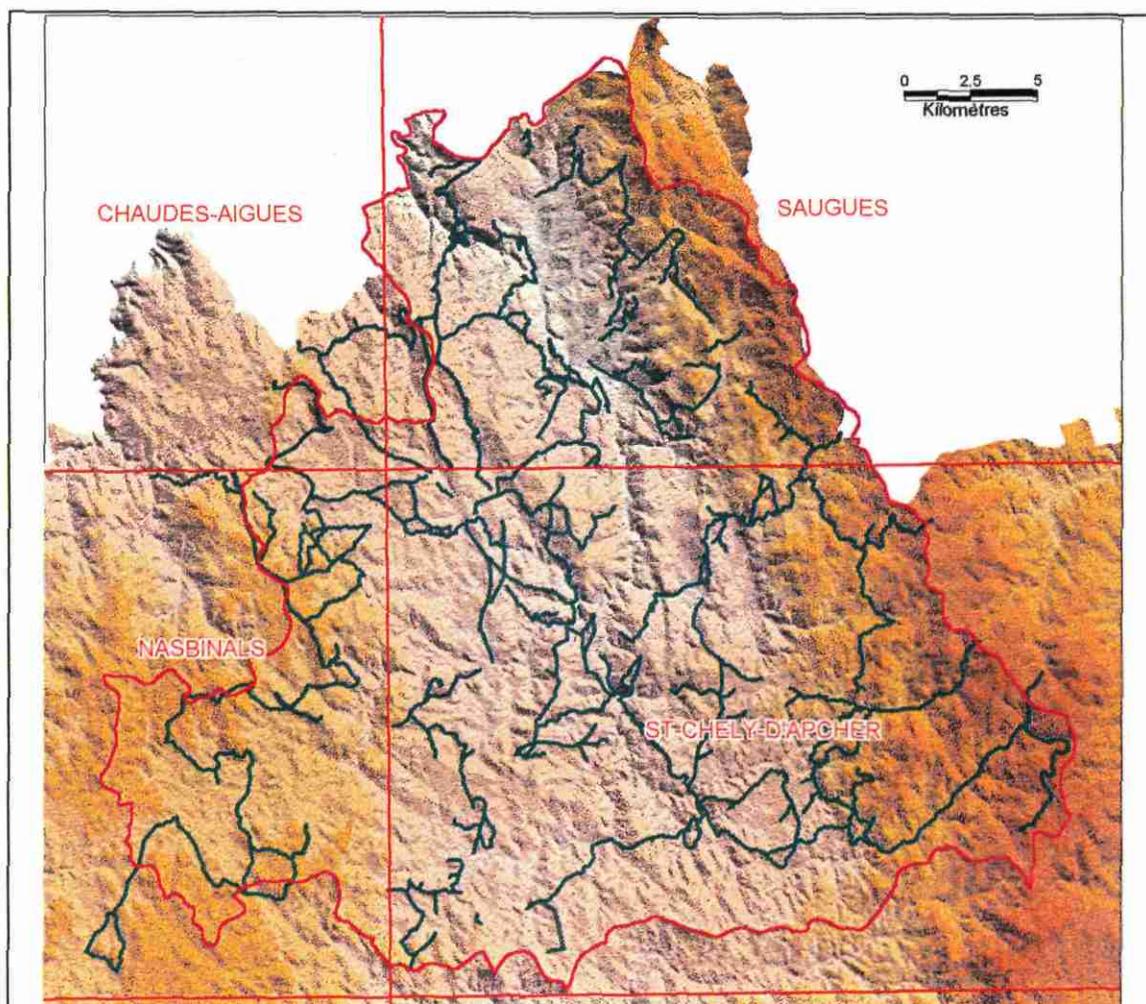


Fig. 1 - Zone d'étude (en mauve) et itinéraires de reconnaissance (en vert)

1.2. CONDITIONS DE REALISATION

La zone étudiée (fig. 1) couvre une surface de 724 km² ; elle est à cheval sur 4 coupures de la carte géologique régulière à 1/50.000 : Chaudes-Aigues, Saugues, Nasbinals, Saint Chély d'Apcher. Sur ces cartes géologiques les arènes granitiques n'ont pas été représentées. Une campagne de terrain de 2 semaines, réalisée en mai et juin 1998, a permis de caler l'altitude de la base des arènes granitiques sur un certain nombre d'itinéraires totalisant environ 500 km, et répartis de manière aussi homogène que possible sur la zone d'étude (fig. 1). Les contours géologiques de la base des arènes ont ensuite été extrapolés à partir de ces itinéraires, en s'appuyant sur la géomorphologie (carte topographique à 1/25.000 et modèle numérique de terrain), et sur les données structurales de la carte géologique complétées sur le terrain. Les quelques coupes de sondages disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol ont été également utilisées.

2. Origine, âge et typologie des altérations

Comme dans tout le Massif central et le Massif armoricain, les manteaux d'altération épais (plusieurs dizaines de mètres) ont été élaborés lors de longues périodes d'émersion sous des climats chauds et humides analogues aux climats de la zone intertropicale actuelle. Les périodes les plus favorables ont été le Crétacé inférieur ainsi que l'Eocène inférieur et moyen, d'une durée de 30 à 35 millions d'années chacune. Dans la région étudiée, l'essentiel des altérations rencontrées semble se rapporter à la période éocène. Elles paraissent se situer dans le prolongement de celles qui affectent le sommet des buttes liasiques de la feuille de Mende, et qui sont rapportées au Sidérolithique. Dans le secteur étudié, les arènes sont en effet scellées par le remplissage des grabens oligocènes. La période récente (Miocène à Quaternaire) n'a donné que des altérations d'épaisseur négligeable par rapport aux altérations antérieures : en référence aux données acquises dans le Massif armoricain, on peut estimer que celles-ci ne dépassent pas quelques décimètres à quelques mètres.

L'élaboration des manteaux d'altération suppose lors de leur formation un paysage aplani et en relief, de façon à ce que l'érosion soit incapable d'évacuer les altérites au fur et à mesure de leur formation (pente faible), et que le front d'altération puisse progresser rapidement vers le bas (écart altimétrique entre sol et niveau de base). Ces conditions sont généralement réalisées lors de déformations lithosphériques à grand rayon de courbure. Le contexte géotectonique de formation des altérites éocènes en France était celui d'un flambage lithosphérique lié à la mise en compression des plaques africaine et ouest-européenne (compression pyrénéenne) (Wyns, 1991 ; Wyns, 1996). A l'échelle régionale, pour une lithologie homogène donnée, la base des altérites est globalement parallèle à l'ancienne surface topographique. Dans le détail cependant (échelle hectométrique), cette surface de base peut s'approfondir de manière considérable le long de certains couloirs de fracturation tectonique jouant le rôle de drains préférentiels (augmentation locale de la vitesse d'altération), ou bien se réduire fortement en fonction des hétérogénéités lithologiques : ainsi les intrusions leucogranitiques, beaucoup moins altérables que le granite porphyroïde encaissant (granite de Margeride) portent en général une épaisseur réduite d'arènes (souvent moins de 10 m du fait de l'érosion).

Le modèle conceptuel des propriétés physiques des altérites en contexte de socle latéritisé a été notablement amélioré ces dernières années, en particulier grâce aux résultats obtenus dans le cadre du projet de recherche et développement PRD 210 ("Carte probabiliste") du BRGM en 1997. Il est représenté de manière schématique sur la fig. 2.

Un profil d'altération type comprend ainsi, de haut en bas, sous les sédiments continentaux pénécotemporains de l'altération, les horizons suivants :

- cuirasse latéritique (0 à quelques m) : rarement préservée, par suite de la troncature du profil par l'érosion ou de sa destruction par évolution vers un latosol (non représentée sur la fig. 2) ;

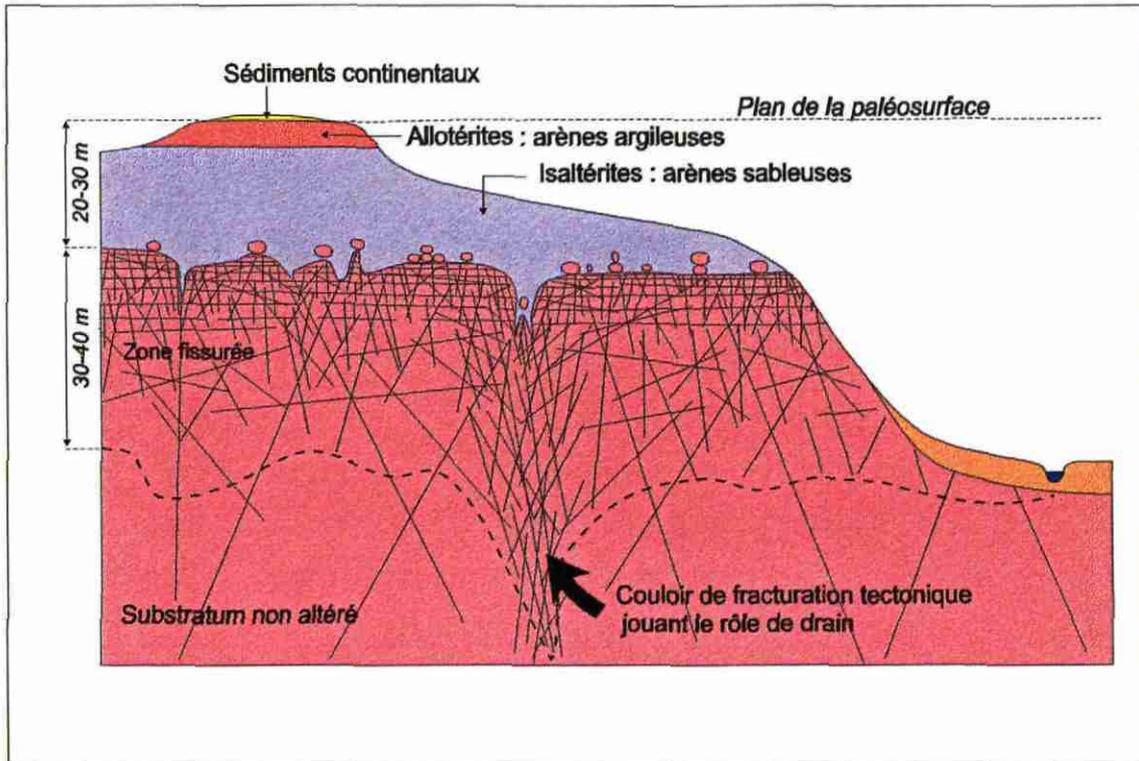


Fig. 2 - Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique (Wyns, inédit)

- allotérites (quelques mètres à une dizaine de mètres) : altérite caractérisée par une réduction de volume par rapport à la roche mère initiale ; la texture de la roche mère n'est pas préservée. En contexte schisteux il s'agit d'une argile imperméable ; en contexte granitique, il s'agit d'une arène argileuse à faible perméabilité et faible porosité efficace. Dans le secteur d'étude, les allotérites ne semblent préservées qu'exceptionnellement, du fait de l'érosion miocène à quaternaire.
- isaltérites (plusieurs dizaines de mètres) : altérite isovolumique où la texture de la roche initiale est préservée. Les éléments chimiques évacués par dissolution sont remplacés par des vides. Il en résulte une porosité importante, permettant à cet horizon de jouer un rôle capacitif vis à vis des eaux d'infiltration. En contexte schisteux, cet horizon, à dominante silto-argileuse, est faiblement perméable bien que très poreux. En contexte granitique, il correspond à une arène sableuse beaucoup plus perméable. A la base des isaltérites se rencontrent fréquemment des boules granitiques résiduelles, de diamètre souvent plurimétriques. Lorsqu'elles sont en place, elles sont en général isolées dans

leur matrice d'arène. Lorsque les arènes ont été évacuées par l'érosion, les boules deviennent affleurantes et peuvent être plus ou moins remaniées sur les versants par gravité ; dans les zones ayant été occupées par les glaciers, elles ont été remaniées dans les formations glaciaires sous forme de "blocs erratiques". Certaines accumulations en "chaos" en grosses boules de taille souvent décimétrique peuvent résulter d'un découpage précoce de la roche saine par des fractures d'origine tectonique, notamment le long des couloirs de fracturation (Serverette).

- zone fissurée (40 à 60 m) : cet horizon, situé dans la partie supérieure du bed-rock "sain", est caractérisé par une très forte fissuration dont l'intensité décroît vers le bas. Cette fissuration résulte de l'éclatement de la roche sous l'effet des contraintes générées par les changements de phase minéralogique, principalement l'hydratation des minéraux ferro-magnésiens (biotite, chlorite) qui évoluent vers des minéraux argileux avec augmentation de volume ainsi que l'oxydation des sulfures présents dans la roche. Dans les 10 premiers mètres, la distance moyenne entre fissures est décimétrique et celles-ci sont ouvertes. L'espacement entre fissures (et donc leur probabilité d'interconnexion) diminue au fur et à mesure que l'on descend dans le profil.



Fig. 3 - Partie supérieure de la zone fissurée dans le granite de Mortagne (Vendée)

La partie supérieure de cet horizon fissuré constitue un aquifère à perméabilité importante, alimenté par les isaltérites sus-jacentes lorsqu'elles sont conservées. Dans le Massif armoricain, la majorité des puits fermiers sont alimentés par cet aquifère ; une partie des sources de versant se situe également dans cet horizon.

Lorsque la roche-mère est isotrope (cas du granite de Margeride), cet horizon est caractérisé par une fissuration horizontale caractéristique (fig. 3). Cette orientation préférentielle résulte des caractéristiques du déviateur de contraintes généré par l'altération : la dilatation étant impossible dans le sens horizontal, les 2 composantes principales du tenseur (σ_1 et σ_2) seront horizontales, tandis que la composante minimale (σ_3) sera verticale ; dans un tel système de contraintes on ouvre principalement des fentes horizontales. Le même phénomène s'applique à la base des arènes, qui présentent un feuilletage horizontal caractéristique (fig. 4, 5 et 6) : ce feuilletage résulte d'un resserrement centimétrique à millimétrique entre joints ; cet espacement étant du même ordre de grandeur que celui du grain de la roche, tous les grains sont atteints par l'altération : il s'agit du début de l'arénisation.

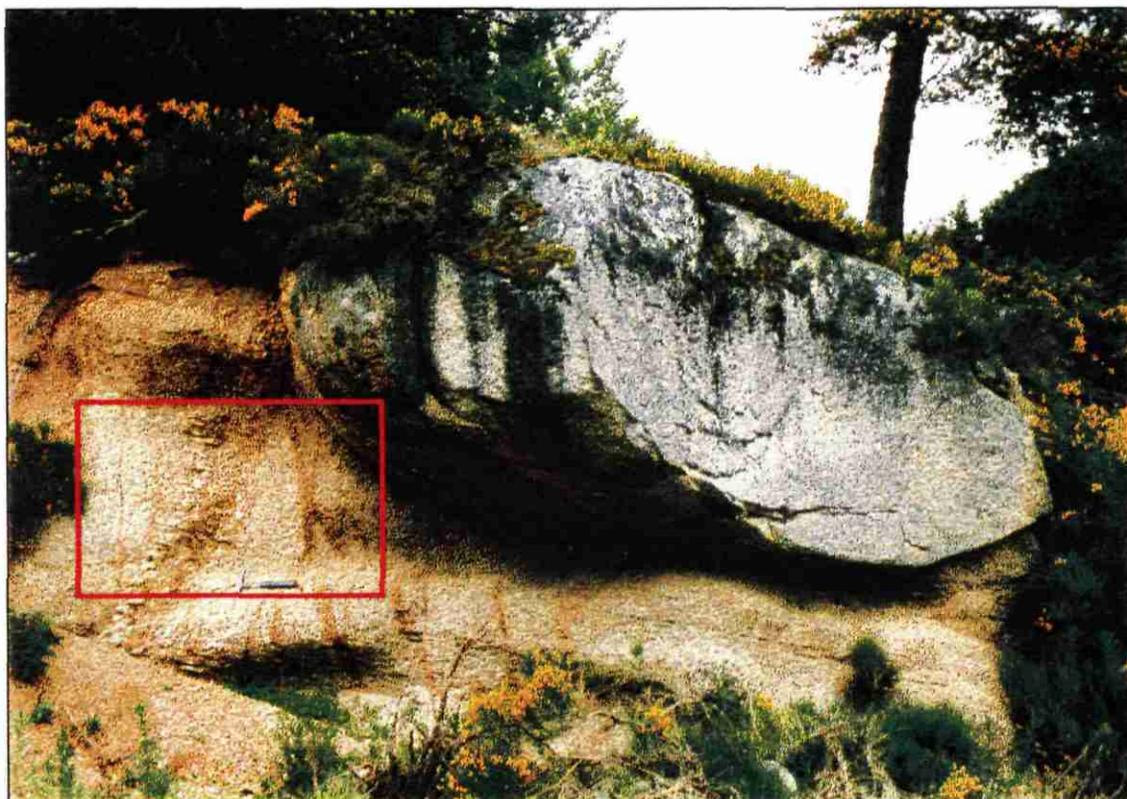


Fig. 4 - Arène feuilletée à boules, granite de Margeride, Trémoulouzet (Le Bacon)

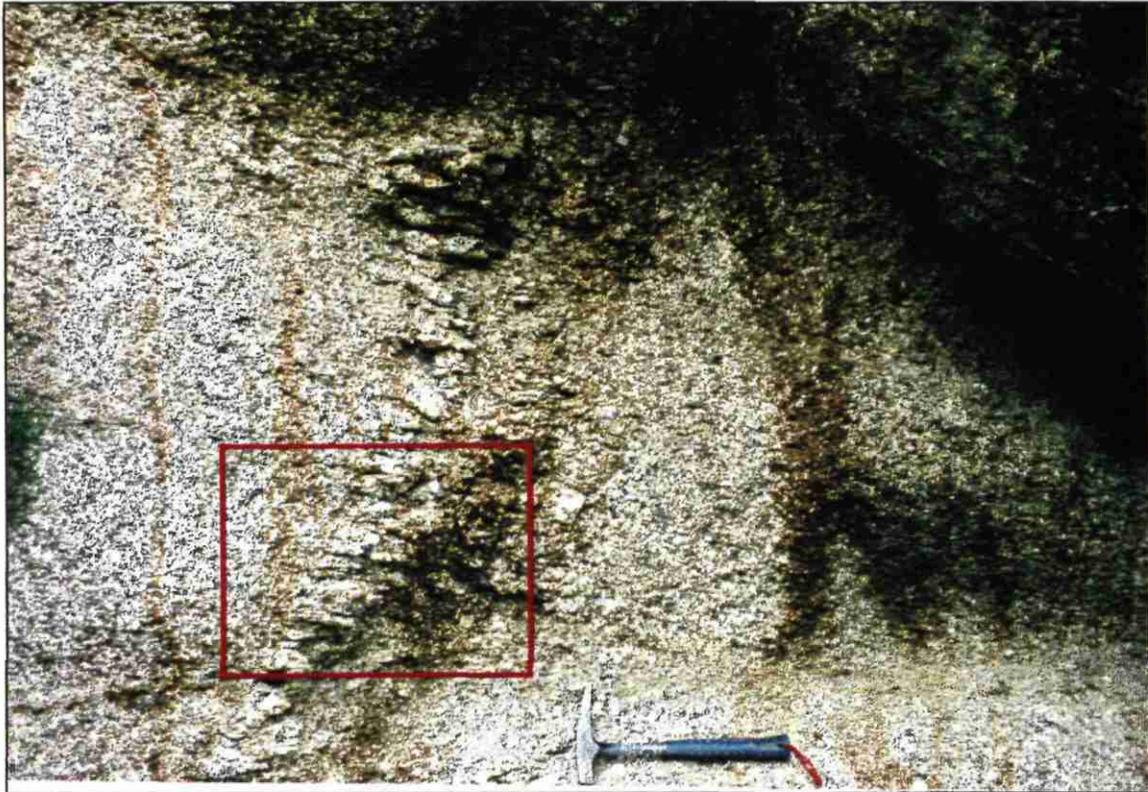


Fig. 5 - Arène feuilletée (détail de la fig. 4)



Fig. 6 - Fissuration horizontale affectant un filonnet de quartz dans les arènes feuilletées (détail de la fig. 5)

3. Méthodologie et résultats

3.1. PRINCIPE DE LA MODELISATION

Compte tenu de l'âge et du mode de formation des arènes, celles-ci ne sont préservées en place que sur les plateaux ; l'érosion récente (Miocène à Quaternaire) a incisé l'ancien profil d'altération, atteignant la roche saine (au-delà de la zone fissurée) dans les vallées les plus profondes. L'essentiel de l'arénisation datant de l'Eocène, la base des arènes, initialement subhorizontale à l'échelle régionale, a subi les déformations tectoniques postérieures, et notamment la tectonique cassante avec basculement de blocs contemporaine de la formation des grabens oligocènes.

La carte des épaisseurs d'arènes conservée in-situ a été réalisée selon la démarche suivante :

- a/ réalisation d'une carte isohypse de la base des arènes à partir des observations de terrain, des quelques coupes de sondages disponibles et en s'appuyant sur la morphologie ; cette carte a été convertie en modèle maillé au pas de 50 m par interpolation d'un semis de points, au sein d'une base image contenant le Modèle Numérique de Terrain. L'interpolation a été réalisée par krigeage avec une zone de recherche circulaire de 1 km de rayon.
- b/ par différence entre l'altitude du sol (donnée par le MNT au pas de 50 m) et l'altitude de la base des arènes, on obtient l'épaisseur des arènes préservées in-situ.
- c/ des cartes de l'extension et de l'épaisseur de l'ensemble zone fissurée + arènes ont été réalisées en ajoutant à l'épaisseur des arènes l'épaisseur estimée arbitrairement de la zone fissurée (respectivement 30 m et 40 m).

Ces différentes cartes sont commentées ci-après.

3.2. CARTE HYPSONOMETRIQUE DU MUR DES ARENES (PLANCHE 1 H.T.)

Globalement la base des arènes dessine dans la partie centrale de la zone d'étude une gouttière NNW-SSE encadrée à l'est par les Monts de Margeride et à l'ouest par l'Aubrac. Cette gouttière, bien visible sur le MNT, correspond à la zone des grabens oligocènes : grabens du Malzieu, de Saint Alban sur Limagnole et du Rouget.

Dans le détail, elle est subdivisée en une série de blocs basculés vers l'ENE, limités par des failles N.150 à regard ouest. Les blocs basculés, inclinés à l'est, ont une pente de l'ordre de 30 m par km.

La base des arènes s'enfonce sous le remplissage tertiaire des grabens. En l'absence de données de forages, l'altitude de la base des arènes sous le remplissage tertiaire des grabens a été estimée en extrapolant vers le sud les altitudes observées dans la vallée du Ruisseau de Chazelles (au nord du secteur d'étude, entre Lorcières et Chaulhac), et en conservant sous les grabens le même gradient d'altitude que sur les blocs basculés. Les valeurs d'altitude sous les grabens tertiaires sont donc très approximatives. La réduction d'épaisseur des arènes sur les pointements leucogranitiques, moins altérables, n'a pas été prise en compte, car cela aurait demandé un travail de terrain beaucoup plus long. Le plan de référence pour le mur des arènes dans ces secteurs est celui des arènes du granite porphyroïde (granite de Margeride). Les épaisseurs réelles des arènes à l'aplomb des zones leucogranitiques sont donc beaucoup plus faibles.

3.3. CARTE DE L'ÉPAISSEUR DES ARENES IN SITU (PLANCHE 2 H.T.)

Cette carte a été obtenue en calculant la différence entre l'altitude du mur des arènes et celle du sol, le résultat étant seuillé à 0 pour éliminer les valeurs négatives (secteurs où

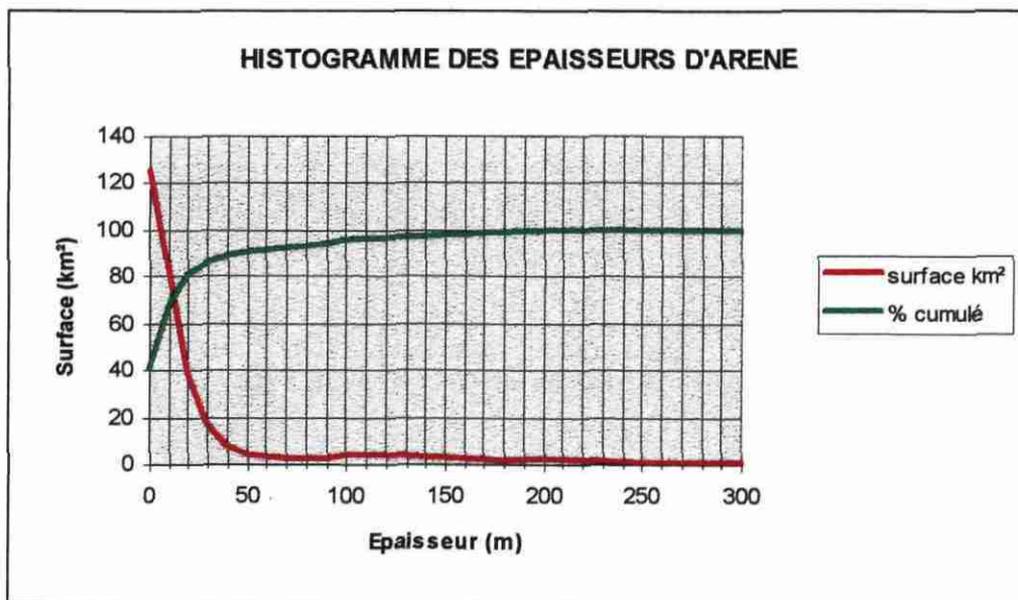


Fig. 7 - Histogramme des épaisseurs d'arènes préservées

les arènes ont été complètement érodées). Elle montre donc la répartition et l'épaisseur approchée des arènes en place : les arènes remaniées sur les versants ne sont pas prises en compte. Il est à noter que, compte tenu du mode de calcul, l'épaisseur du remplissage sédimentaire des grabens tertiaires a été intégré à celui des arènes. De la même manière, les quelques coulées basaltiques existantes ont été également intégrées aux arènes. A l'aplomb des zones de leucogranite, l'épaisseur d'arènes portée sur la carte est systématiquement surestimée (voir ci-dessus), car il n'a pas été tenu compte de la lithologie lors du tracé des courbes isohypses du mur des arènes.

Les fortes épaisseurs d'arène coïncidant avec une intrusion de leucogranite ne doivent donc pas être considérées a priori comme des zones favorables. Ceci ne doit pas représenter un gros problème puisque la lithologie du socle est l'un des éléments de l'analyse multicritère qui doit aboutir à la délimitation des zones favorables.

A l'échelle du secteur étudié, dont la superficie est de 724 km² environ, les arènes in situ occupent une superficie de 305 km² (42 % de la zone d'étude). Les arènes sont préservées sur les plateaux, préférentiellement dans la gouttière NNW-SSE traversant la zone d'étude. A l'extrémité sud-ouest, elles ont été complètement décapées par les glaces quaternaires (ancien glacier de l'Aubrac) ; sur le terrain, les collines de ce secteur montrent le granite sain subaffleurant, recouvert d'une mince pellicule de sédiments glaciaires ainsi que de blocs erratiques. A l'est, dans les Monts de Margeride, les arènes apparaissent très disséquées : ceci résulte principalement de leur déblaiement plus efficace par l'érosion du fait d'une morphologie plus accidentée partiellement héritée du compartimentage tectonique ; une contribution glaciaire à ce déblaiement est probable dans la partie sud-est du secteur (haute vallée de la Truyère, région de La Villedieu et de Saint Denis en Margeride).

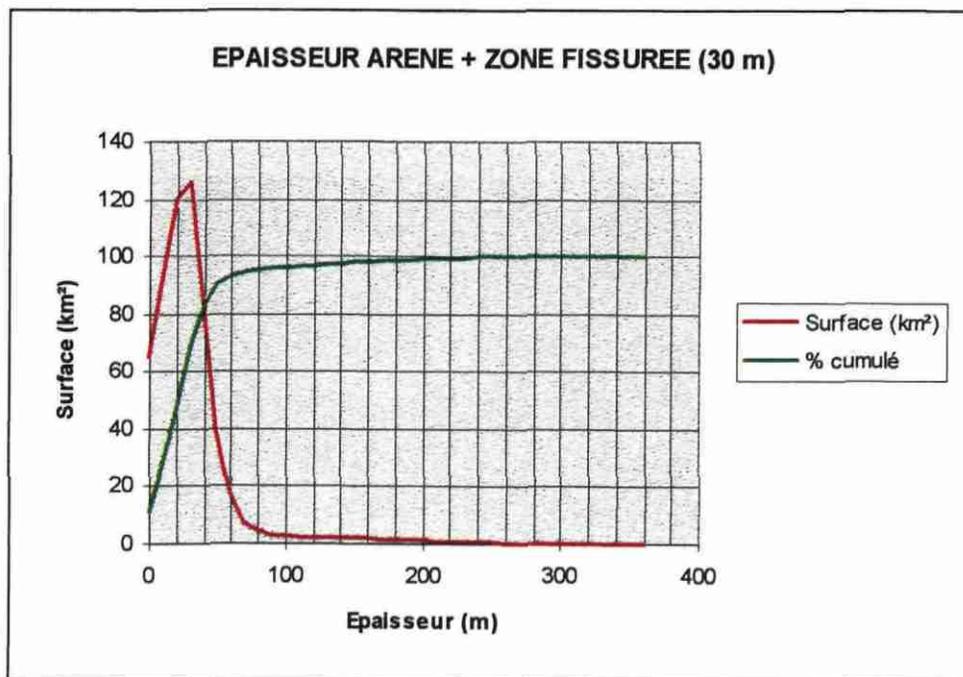


Fig. 8 - Histogramme de l'épaisseur cumulée arènes + zone fissurée pour une zone fissurée estimée à 30 m

L'histogramme des épaisseurs d'arènes (fig. 7) montre que 90 % environ de la superficie des arènes préservées correspond à des épaisseurs inférieures à 40 m. Ceci correspond effectivement à l'ordre de grandeur des épaisseurs maximales d'arènes observées sur le terrain pour le granite de Margeride, en dehors des anomalies locales (couloirs de fracturation jouant le rôle de drains). Un deuxième mode correspondant à des épaisseurs comprises entre 100 et 120 m représente le remplissage sédimentaire des grabens.

3.4. CARTES DE L'ENSEMBLE ARENES IN SITU + ZONE FISSUREE (PLANCHES 3 ET 4)

Des cartes montrant la répartition et l'épaisseur préservée de l'ensemble zone fissurée + arènes ont été réalisées en fixant arbitrairement l'épaisseur de la zone fissurée à 30 m (planche 3) et à 40 m (planche 4).

En attribuant arbitrairement une épaisseur de 30 m à la zone fissurée (planche 3), l'ensemble arènes + zone fissurée occupe une superficie de 582 km² (80 % de la zone d'étude). Cet ensemble a été totalement érodé dans les vallées encaissées ainsi que la zone du glacier de l'Aubrac. L'histogramme correspondant (fig. 8) montre que 90 % de la superficie occupée par cet ensemble présente une épaisseur cumulée inférieure à 50 m.

En attribuant arbitrairement une épaisseur de 40 m à la zone fissurée (planche 4), l'ensemble arènes + zone fissurée occupe une superficie de 628 km² (87 % de la zone d'étude). Seules les vallées les plus profondes, et toujours la zone du glacier de l'Aubrac, sont dépourvus à la fois de zone fissurée et d'arènes.

L'histogramme correspondant (fig. 9) montre que 90 % de la superficie occupée par cet ensemble présente une épaisseur cumulée inférieure à 60 m.

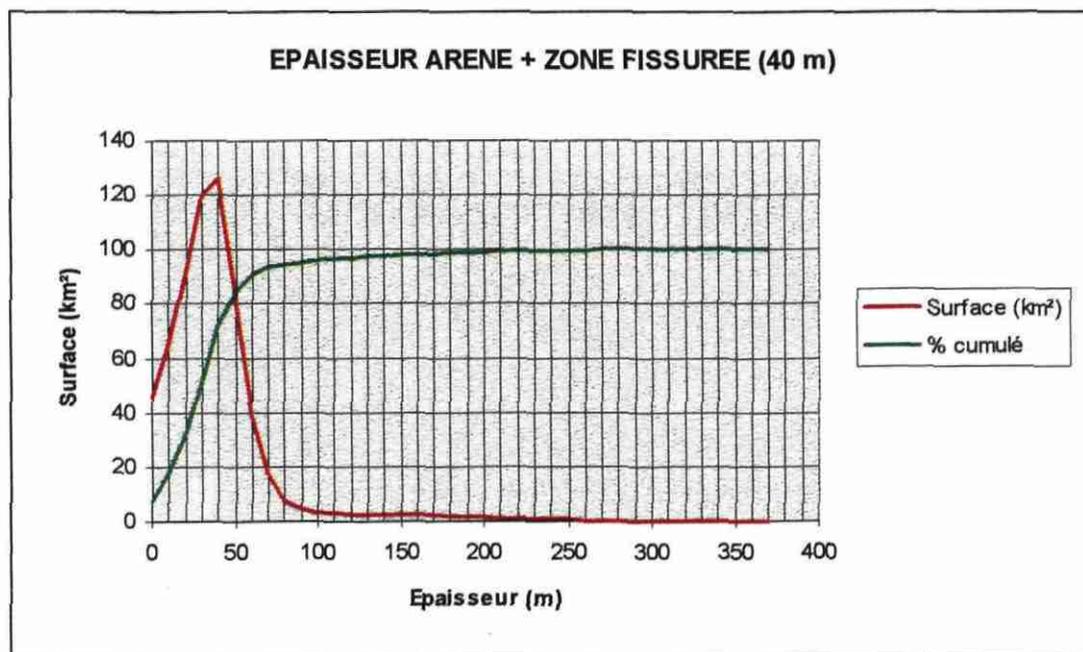


Fig. 9 - Histogramme de l'épaisseur cumulée arènes + zone fissurée pour une zone fissurée estimée à 40 m

4. Conclusion

Les levés de terrain réalisés montrent que la région du bassin-versant lozérien de la Truyère a subi un important épisode d'altération avant la création des grabens oligocènes. Il est vraisemblable que l'ensemble des altérites identifiées a été élaboré à l'Eocène inférieur et moyen, comme c'est le cas dans une bonne partie de la France. Les observations de terrain montrent que le modèle conceptuel de zone fissurée affectant les premières dizaines de mètres du bed-rock sous le front d'altération (Wyns et Gourry, résultats inédites du PRD 201, 1997) et constituant un horizon stratiforme pouvant contribuer de manière significative à la productivité globale de l'aquifère du socle semble s'appliquer au contexte de la Margeride. Ce modèle devra toutefois être validé pour cette région par la mise en oeuvre de diagraphies appropriées (diagraphies acoustique et de conductivité électrique) lors des forages de reconnaissance.

Le travail réalisé a permis d'obtenir un modèle géométrique de l'extension, de l'altitude et de l'épaisseur des arènes granitiques. Ce modèle a été prolongé vers le bas en faisant des hypothèses sur l'épaisseur de la zone fissurée. Il permettra de contribuer à délimiter les secteurs favorables à la recherche d'eaux souterraines. Pour le futur, il pourra servir de base à la réalisation d'un éventuel modèle hydrodynamique régional qui permettrait d'aborder les problèmes de bilan hydrique et de vitesse de transfert.

Bibliographie

Wyns R., 1991 - Evolution tectonique du bâti armoricain oriental au Cénozoïque d'après l'analyse des paléosurfaces continentales et des formations géologiques associées. *Géologie de la France*, 3, 1991, pp. 11-42, 26 fig.

Wyns R., 1996 - Essai de quantification de la composante verticale de la déformation finie cénozoïque en Poitou, Limousin occidental et dans la plate-forme nord-aquitaine d'après l'analyse des paléosurfaces continentales et des sédiments associés. *Réunion ASF-SGF " Quantification de la tectonique et de l'eustatisme "*, Rennes, octobre 1996, p. 39.

PRD324-98
Hydrogéologie des aquifères discontinus
Ressources en Eau Margeride Ouest

Liste des rapports contenus au sein du coffret

LACHASSAGNE P., BERARD P., BLES J.L., BRUEL Th., CHERY L., DESPRATS J.F., IZAC J.L., LE STRAT P., WYNS R. (1999).- PRD324-98 - Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Synthèse des résultats de la première phase du projet. Méthodologie d'analyse multicritères pour la cartographie des potentialités en eau souterraine des aquifères de socle. Sélection de sites expérimentaux.- Agence de l'Eau Adour Garonne, Conseil Général de la Lozère, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.- Rapport BRGM R 40293.- 63 p., 20 fig., 4 tabl., 9 ann...

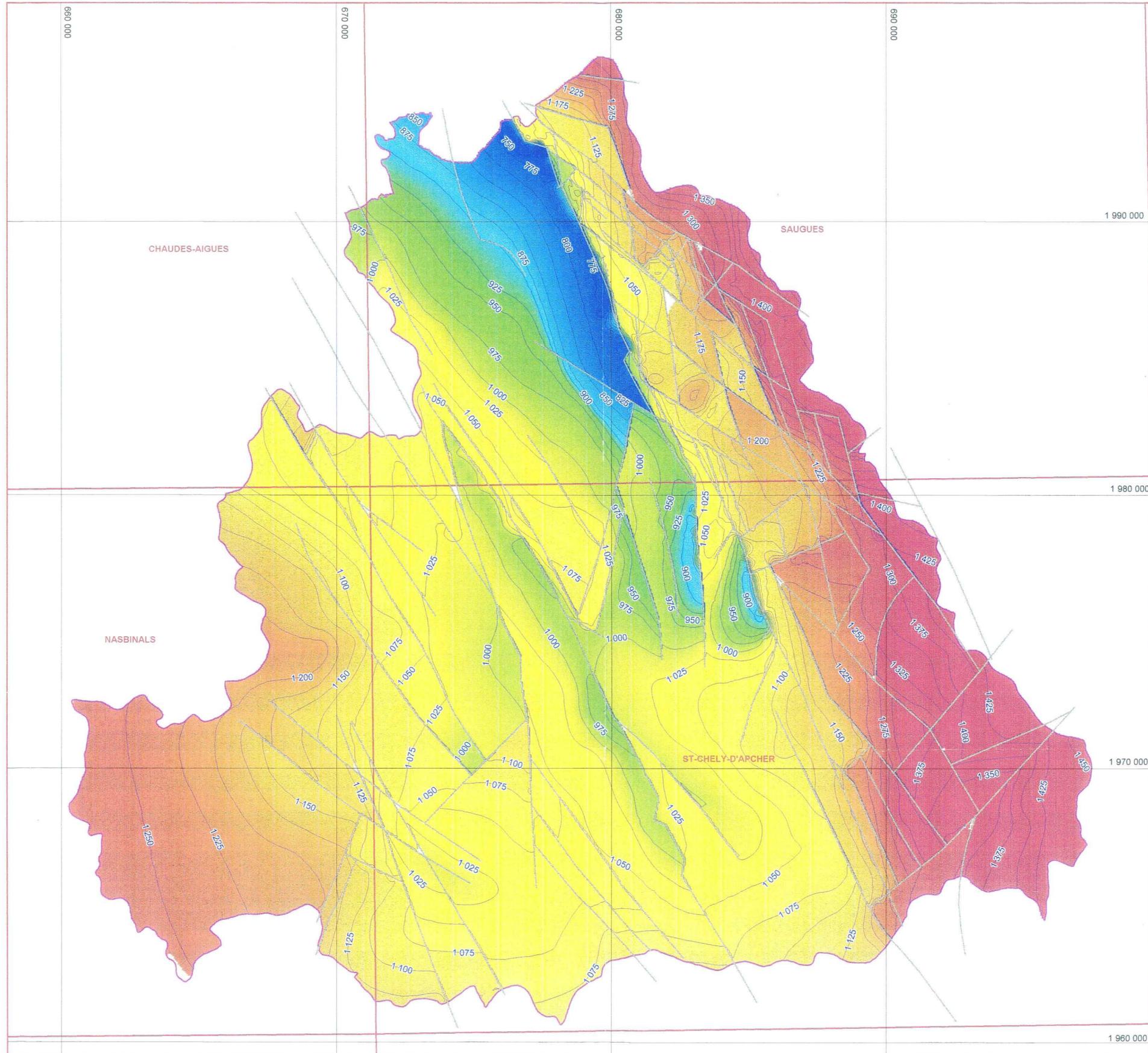
BRUEL Th. (1998).- Ressources en Eau Margeride Ouest. Identification et analyse des réseaux de fractures sur le bassin versant lozérien de la Truyère et mise en relation avec les états de contraintes actuelles.- Agence de l'Eau Adour Garonne, Conseil Général de la Lozère, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.- Rapport Université de Montpellier II.- 55 p., 27 fig., 25 phot., 4 tabl., 1 ann..

LE STRAT P. (1998).- PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Synthèse géologique du bassin versant lozérien de la Truyère.- Agence de l'Eau Adour Garonne, Conseil Général de la Lozère, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.- Rapport BRGM R 40222.- 39 p., 3 fig..

LE STRAT P. (1998).- PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Légende de la carte géologique de synthèse du bassin versant lozérien de la Truyère. Echelle à 1/100 000.- Agence de l'Eau Adour Garonne, Conseil Général de la Lozère, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.- Rapport BRGM R 40223.- 28 p..

WYNS R. (1998).- PRD324 Hydrogéologie des aquifères discontinus. Ressources en Eau Margeride Ouest. Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur) des arènes granitiques du bassin versant lozérien de la Truyère (Lozère, Massif Central).- Agence de l'Eau Adour Garonne, Conseil Général de la Lozère, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.- Rapport BRGM R 40191.- 18 p., 9 fig., 4 pl. h.-t..

LAPSCHER S. (1998).- Ressources en Eau Margeride Ouest. Evaluation de la ressource.- Agence de l'Eau Adour Garonne, Conseil Général de la Lozère, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie.- Rapport de stage effectué au BRGM.- 46 p., 14 fig., 13 phot., 14 ann..



RESSOURCES EN EAUX DE LA MARGERIDE OUEST



PLANCHE 1
CARTE DE L'ALTITUDE DE LA BASE DES ARENES

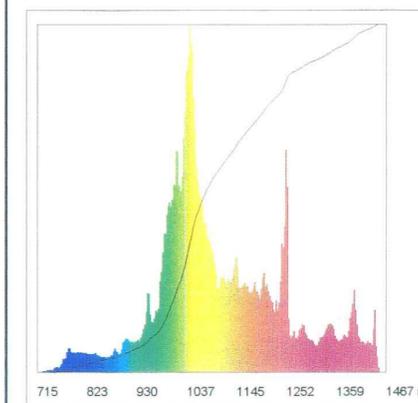
Echelle 1/100.000



DIRECTION DE LA RECHERCHE
PRD 324 "HYDROGEOLOGIE DES AQUIFERES DISCONTINUS"

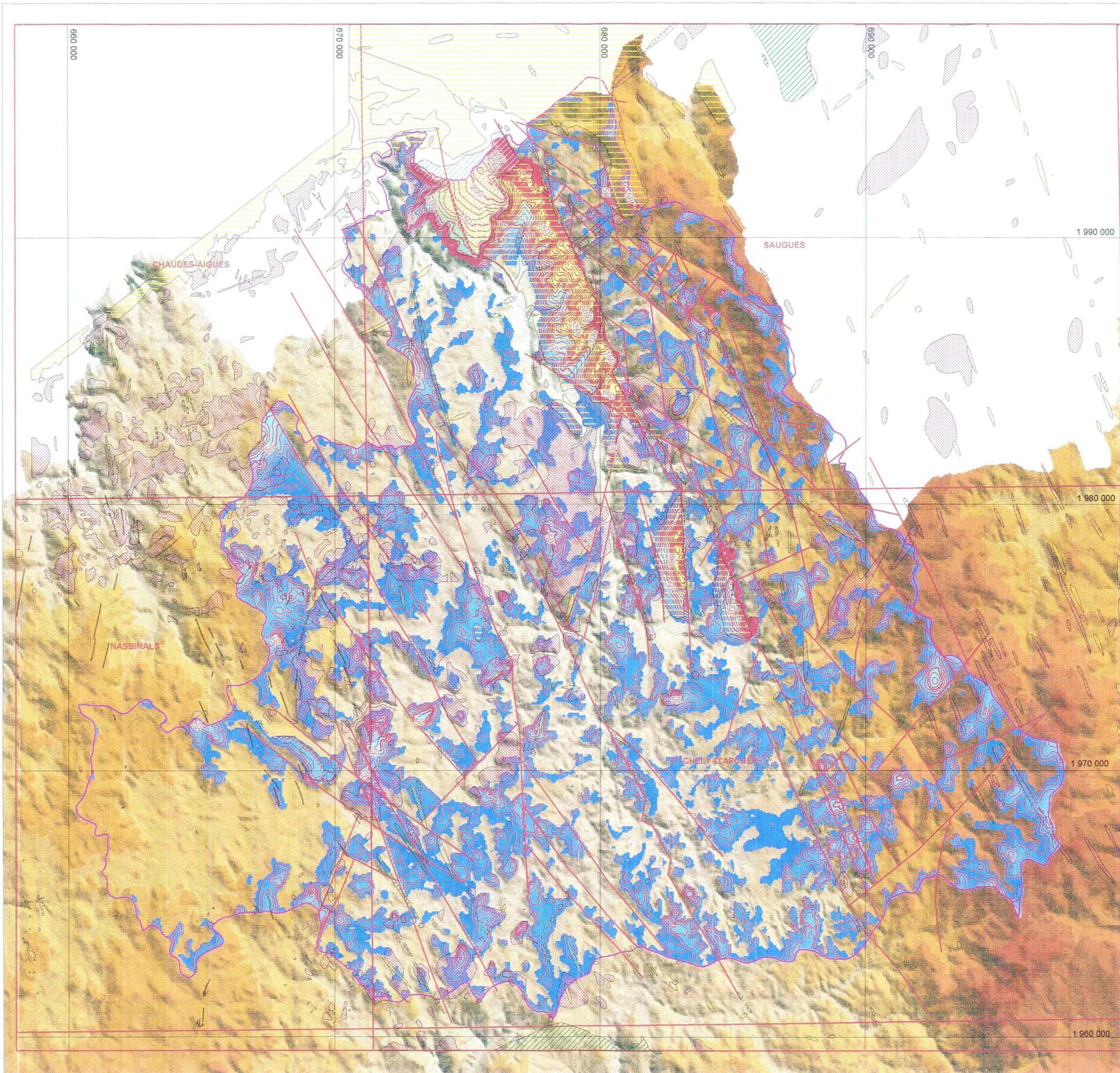
R. WYNS - AOUT 1998

Rapport BRGM R 40191



- Faille
- Courbe isohypse (équidistance 25 m)

Projection Lambert 2 carto



RESSOURCES EN EAUX DE LA MARGERIDE OUEST



PLANCHE 2

CARTE DE L'ÉPAISSEUR DES ARENES

(Incluant le remplissage tertiaire des grabens)

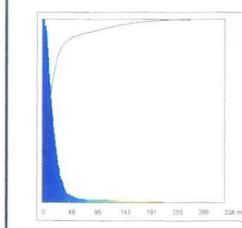
ECHELLE 1/100.000



DIRECTION DE LA RECHERCHE
PRD 324 "HYDROGÉOLOGIE DES AQUIFÈRES DISCONTINUS"

R. WYNS - AOUT 1998

Rapport BRGM R 40191



Arènes préservées
(incluant les sédiments tertiaires
et les coulées basaltiques)

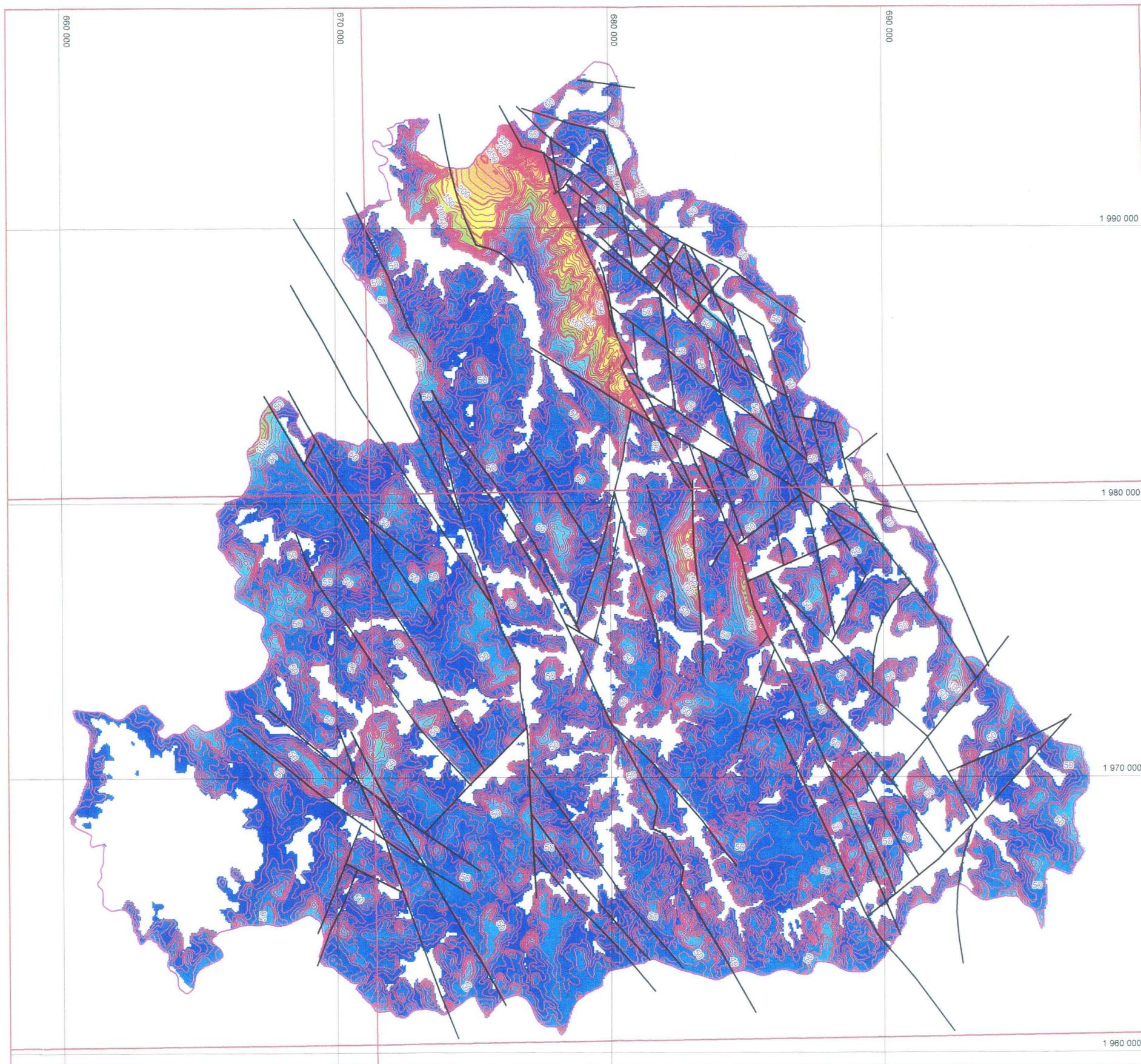
Courbe isopaque des arènes
(incluant les sédiments tertiaires
et les coulées basaltiques)
Équidistance 10 m
Courbes maîtresses tous les 50 m

Faïlle

GÉOLOGIE	
[Symbol]	Amphibolites
[Symbol]	Basalte
[Symbol]	Eocène sup et Oligocène
[Symbol]	Leucogranite
[Symbol]	Leucogranite à muscovite-tourmaline
[Symbol]	Micaschistes
[Symbol]	Microgranite
[Symbol]	Porphyrite
[Symbol]	Quartz
[Symbol]	Unité allochtone de gneiss leptynitiques
[Symbol]	Unité para-autochtone de gneiss à biotite-silliman

Fond en couleur : MNT ombré

Projection Lambert 2 carto



AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

RESSOURCES EN EAUX DE LA MARGERIDE OUEST



CONSEIL GENERAL
LOZERE

PLANCHE 3
CARTE DE L'ÉPAISSEUR CUMULÉE
DES ARENES ET DE LA ZONE FISSURÉE
(Épaisseur de la zone fissurée supposée égale à 30 m)

ECHELLE 1/100.000



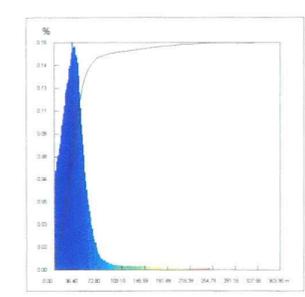
DIRECTION DE LA RECHERCHE
PRD 324 "HYDROGÉOLOGIE DES AQUIFÈRES DISCONTINUS"

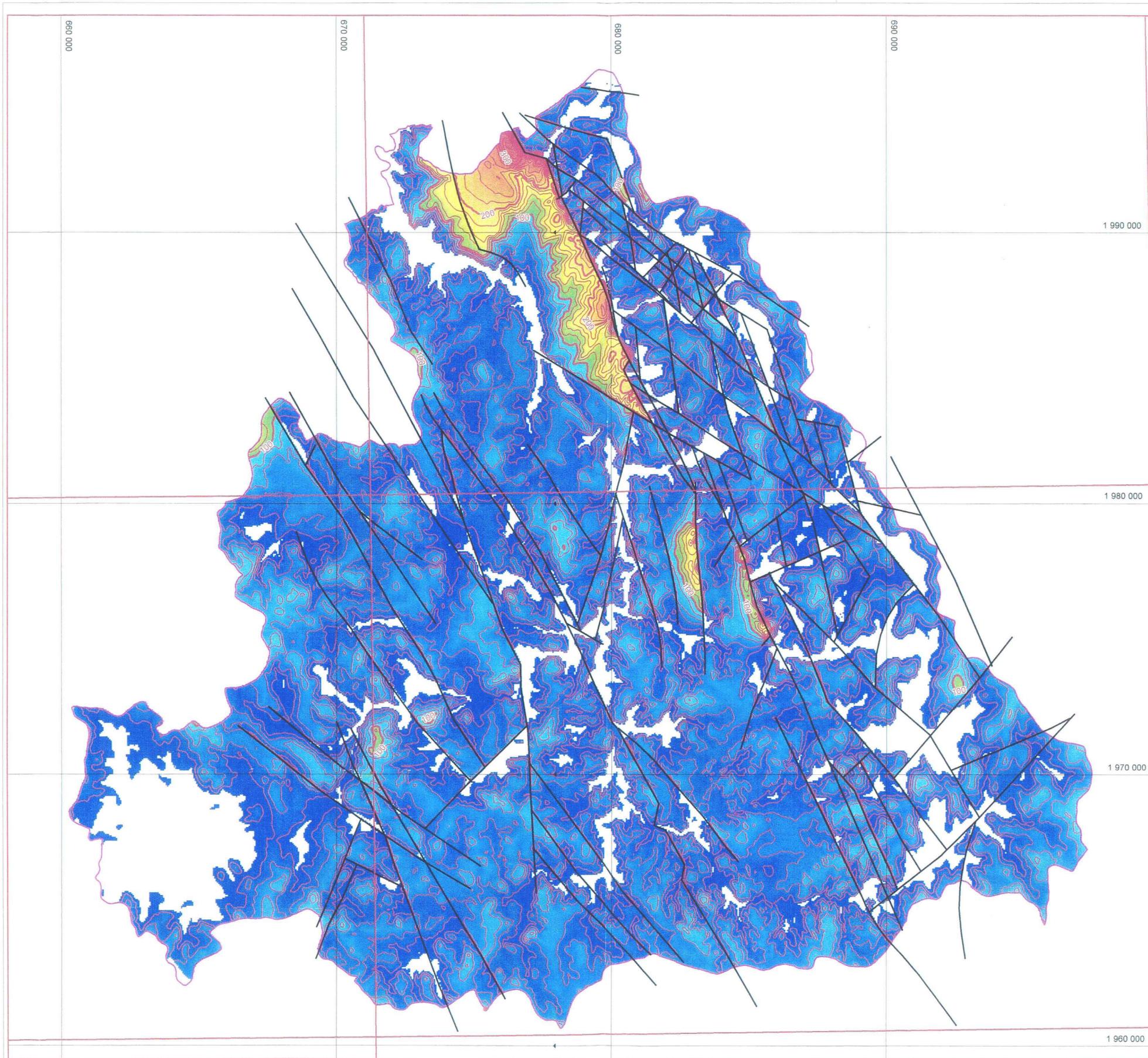
R. WYNS - AOÛT 1998

Rapport BRGM R 40191

-  Arènes + zone fissurée (30 m) préservées (incluant les sédiments tertiaires et les coulées basaltiques)
-  Courbe isopaque
Equidistance 10 m
Courbes maîtresses tous les 50 m
-  Faille

Projection Lambert 2 carto





RESSOURCES EN EAUX DE LA MARGERIDE OUEST



AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

PLANCHE 4
CARTE DE L'ÉPAISSEUR CUMULÉE
DES ARENES ET DE LA ZONE FISSURÉE
(Épaisseur de la zone fissurée supposée égale à 40 m)

ECHELLE 1/100.000



DIRECTION DE LA RECHERCHE
PRD 324 "HYDROGÉOLOGIE DES AQUIFÈRES DISCONTINUS"

R. WYNS - AOÛT 1998

Rapport BRGM R 40191

 Arènes + zone fissurée (40 m) préservées
(incluant les sédiments tertiaires
et les coulées basaltiques)

 Courbe isopaque
Équidistance 20 m
Courbes maîtresses tous les 100 m

 Faille

Projection Lambert 2 carto

