

Document public

Diagnostic des potentialités aquifères des formations de socle en région Midi-Pyrénées

Phase 1 : secteur « Massif Central »

Rapport final

BRGM/RP-58808-FR
décembre 2010



3 5000 00081313 8



Diagnostic des potentialités aquifères des formations de socle en région Midi-Pyrénées

Phase 1 : secteur « Massif Central »

Rapport final

BRGM/RP-58808-FR

décembre 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2009 09EAUK66

J.M. Gandolfi, R. Wyns, P.C. Damy

Vérificateur :
Nom : B. Dewandel
Date : 08/02/2011
Signature :

Approbateur :
Nom : P. Roubichou
Date : 4/02/2011
Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.
Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : Aquifère, Socle, Ressources en eau, Potentialités, Géomorphologie, Altération, Lot, Tarn, Aveyron, Midi-Pyrénées

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

Gandolfi. J.M., Wyns. R., Damy. P.C. (2010) - Diagnostic des potentialités aquifères des formations de socle en région Midi-Pyrénées. Rapport final. Rapport BRGM/RP-58808-FR. 141 p., 59 ill., 6 ann., 4 Planches hors texte.

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La région Midi-Pyrénées est concernée par de nombreux secteurs géographiques dans lesquels la multiplicité de captages – généralement de petites sources vulnérables à très faible débit - rend difficile la gestion des ressources en eau souterraine, notamment pour l'alimentation en eau potable, en termes de quantité, qualité, et de protection de la ressource. Le plus souvent aucune diversification de la ressource n'a pu être mise en place en cas d'étiage sévère, d'augmentation estivale de la demande, ou de dégradation de la qualité des eaux.

Afin de mieux s'affranchir des problèmes liés à l'exploitation de ces petites sources (traitement lourd et onéreux, absence de diversification de la ressource, etc.), l'amélioration des connaissances hydrogéologiques et des potentialités aquifères des formations de socle occupant ces secteurs s'avère indispensable. Depuis une dizaine d'années de nouveaux concepts et de nouvelles technologies ont été mis en œuvre en France et à travers le monde pour améliorer la compréhension de la structure et du fonctionnement des aquifères de socle. Cette nouvelle approche a été appliquée, dans le cadre de la présente étude, aux formations de socle de la région Midi-Pyrénées.

Elle permet à moyen terme de :

- **rationaliser** la diminution du nombre de captages,
- **optimiser** le traitement et la reconquête des milieux,
- identifier des **ressources alternatives** en terme de quantité,
- **améliorer** la connaissance des potentialités aquifères des formations de socle pour permettre aux décideurs de mieux guider leurs actions.

Les objectifs prioritaires ont été définis par la Région Midi-Pyrénées en matière d'eaux souterraines, faisant suite aux constats et aux préconisations de la Mission Régionale sur l'Eau, présentées en mars 2005, et définissant trois axes de priorité décroissante concernant la gestion de la ressource en eau :

- la maîtrise de la demande en eau,
- la gestion intégrée des ressources existantes,
- la création de nouvelles ressources.

Ces thèmes sont également repris dans le Plan Régional d'Economie d'Eau intégré dans l'Agenda 21, approuvé le 30 mars 2007 par les élus régionaux.

Parallèlement, la signature du Contrat de Projets Etat-Région (CPER) sur la période 2007-2013, a incité le BRGM, avec l'appui de ses principaux partenaires (administrations déconcentrées, agences d'objectifs, collectivités territoriales), à proposer un programme pluriannuel d'actions concertées.

Dans le cadre de ce programme, le Comité Régional de Programmation des actions de service public du BRGM et les collectivités territoriales, dont la Région, ont mis en avant le besoin de lancer une action d'amélioration et d'actualisation des connaissances hydrogéologiques en région Midi-Pyrénées.

L'ensemble de ces réflexions a conduit à l'élaboration du programme ONGERE (**O**util d'aide à la décision pour la **G**estion durable des **R**essources en **E**au) dont l'objectif est, à partir d'une série d'études planifiées sur six années, d'aboutir à une amélioration de la connaissance sur les eaux souterraines suffisante pour permettre la mise en œuvre d'un outil d'aide à la décision sur le territoire régional, et ainsi doter les politiques publiques d'une vision claire, efficace et cohérente, sur le moyen et le long terme, en matière de gestion durable des ressources en eau en Midi-Pyrénées.

De plus, les objectifs de ce projet s'intègrent totalement aux orientations fondamentales du nouveau Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Adour-Garonne en vigueur sur la période 2010-2015.

La présente étude s'inscrit dans le module B du programme ONGERE « amélioration des connaissances des formations de socle en région Midi-Pyrénées », et s'appuie donc sur les nouveaux concepts sur la structure et le fonctionnement des aquifères de socle. Ses résultats sont indispensables pour mener à bien et en toute cohérence le programme ONGERE. Elle est scindée en deux phases :

- Phase 1 : secteur « Massif Central », au nord-est de la région, 7400 km² (2009-2010)
- Phase 2 : secteur « chaîne pyrénéenne », au sud de la région, 2800 km² (2011-2012)

La présente étude concerne la phase 1 de ce programme.

Ce projet a permis d'établir une typologie des formations de socle en termes de potentialités aquifères, et de hiérarchiser ces formations en fonction de leur intérêt hydrogéologique sur le secteur « Massif Central » de la région Midi-Pyrénées. Le travail s'appuie sur les données bibliographiques existantes et disponibles, et principalement sur une reconnaissance sur le terrain de toutes les formations géologiques de socle représentatives en terme de superficie (à l'échelle 1/50 000).

Il s'agit d'une approche multi-échelle croisant l'approche à l'échelle du minéral avec une approche géomorphologique visant à la compréhension des paysages. En effet, les modifications physiques de la roche mère au cours de l'histoire géologique peuvent améliorer sensiblement les propriétés hydrodynamiques des aquifères de socle. Il a été ainsi étudié :

- la capacité de la roche mère à acquérir une porosité de fissure à l'échelle minérale (facteur lithologique),
- la préservation des profils d'altération au cours du temps (facteurs géomorphologique et tectonique).

Il est proposé une carte de synthèse restituant les résultats de la hiérarchisation à une échelle adaptée à la vision régionale (1/250 000) : « carte du potentiel hydrogéologique

des formations de socle », dressée à partir de l'altérabilité et l'âge d'altération de ces formations. Celle-ci est accompagnée des données utiles et de toutes les recommandations afin de mieux guider le choix des décideurs sur la sélection des secteurs pour lesquels une évaluation détaillée des potentialités aquifères pourra être mise en œuvre dans le cadre d'une action locale concertée.

Un Système d'information Géographique (SIG) des potentialités aquifères des formations de socle dans le Massif central en Midi-Pyrénées accompagne la carte de synthèse. Les éléments du SIG permettent, pour chaque entité géologique, une vision rapide sur ses potentialités aquifères, les anomalies géochimiques, les débits spécifiques en période d'étiage, ainsi que les données géologiques et hydrogéologiques présentes en BSS.

Toutes ces données seront également intégrées dans le Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES, site <http://sigesmpy.brgm.fr>), afin d'être diffusées au grand public.

La carte du potentiel aquifère du socle du Massif central a été réalisée en croisant la carte d'altérabilité et la carte de l'âge de l'altération.

Sur les 7 440 km² environ de socle cristallin du Massif central appartenant à la Région Midi-Pyrénées, environ 2 777 km² (37 %) peuvent être considérées comme favorables, très favorables ou extrêmement favorables à la présence d'aquifères d'altération. En toute théorie, une première estimation de la réserve en eau souterraine (réserve aquifère), basée sur la porosité prévisible et moyenne des formations aquifères, est établie à 550 M de m³ sur la zone d'étude. Il ne s'agit pas proprement dit d'une ressource directement disponible (ou ressource renouvelable) mais plutôt d'une ressource susceptible d'être exploitée en partie par des forages lorsque les conditions hydrogéologiques le permettent.

Cette étude constitue l'étape préalable et indispensable aux décideurs locaux pour mieux guider leurs futures actions dans la gestion des eaux souterraines. En effet, les secteurs définis comme favorable sur le plan hydrogéologique sont à considérer comme stratégiques vis-à-vis de l'alimentation en eau potable et peuvent constituer une réelle alternative et diversification par rapport à leur gestion actuelle.

Ainsi elle permettra de mieux guider le choix des décideurs sur la sélection des secteurs, à l'échelle de l'unité de gestion (50 à 200 km²) et en fonction des enjeux et contraintes qu'ils auront définis, pour lesquels une évaluation détaillée des potentialités aquifères pourra être mise en œuvre dans le cadre d'une action locale concertée, et selon les nouvelles technologies développées.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Objectif.....	17
3. Rappel méthodologique	19
3.1. NOUVEAUX CONCEPTS SUR LA STRUCTURE ET LE FONCTIONNEMENT DES AQUIFERES DE SOCLE	19
3.2. METHODOLOGIE MISE EN OEUVRE.....	22
3.2.1. Composition minéralogique	22
3.2.2. Caractéristiques structurales	22
3.2.3. Age de l'altération	23
4. Contexte.....	25
4.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.....	25
4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	26
4.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	28
4.3.1. Préambule.....	28
4.3.2. Rappels théoriques	30
4.3.3. Altérations carbonifères.....	31
4.3.4. Surface antépermienne	33
4.3.5. Surface antétriasique	33
4.3.6. Surface anté-liasique.....	33
4.3.7. Surface infra-crétacée	33
4.3.8. Surface éocène	34
4.3.9. Zones de raccordement entre surface éocène et surface infra- crétacée	34
4.4. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE.....	35
4.5. CONTEXTE PLUVIOMETRIQUE	35
5. Données collectées.....	39
5.1. PRESENTATION DES DONNEES UTILES	39
5.2. DONNEES GEOLOGIQUES	40

5.3. DONNEES HYDROGEOLOGIQUES.....	45
5.3.1. Présentation des données hydrogéologiques utiles	45
5.3.2. Les sources	49
5.3.3. Niveau hydrostatique.....	51
5.3.4. Débit des forages	51
5.3.5. Essais de pompage et de perméabilité	55
5.4. DONNEES HYDROMETRIQUES	56
5.5. PRELEVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE	62
5.6. DONNEES GEOCHIMIQUES	65
5.6.1. Introduction	65
5.6.2. Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines	67
5.6.3. Fond géochimique de l'inventaire minier.....	71
5.6.4. Les indices miniers	75
5.7. BASE DE DONNEES (SIG).....	75
6. Reconnaissances de terrain	79
6.1. TRAVAUX PREPARATOIRES	79
6.1.1. Compilation des cartes géologiques	79
6.1.2. Informations issues des notices géologiques.....	80
6.2. CAMPAGNE DE TERRAIN	81
6.2.1. Présentation de la campagne	81
6.2.2. Argumentaire géomorphologique.....	85
7. Potentialités aquifères des formations de socle	91
7.1.1. Carte de l'altérabilité des formations du socle.....	91
7.1.2. Esquisse géomorphologique	93
7.1.3. Potentiel aquifère des formations de socle d'après les critères pétrographiques et géomorphologiques.....	94
7.1.4. Conclusion sur les potentialités aquifères	96
7.1.5. Discussions et perspectives	98
8. Conclusion.....	101
9. Bibliographie	103

Liste des illustrations

Illustration 1 -	Modèle ancien d'aquifère de socle	19
Illustration 2 -	L'horizon fissuré dans un granite du Livradois (sud de Thiers).....	20
Illustration 3 -	Le nouveau modèle conceptuel d'aquifère de socle	21
Illustration 4 -	Présentation de la zone d'étude.....	25
Illustration 5 -	Cadre géologique de l'étude d'après la carte géologique de la France à 1/1000000.....	26
Illustration 6 -	Carte des replats de la zone d'étude d'après le MNT au pas de 50 m	29
Illustration 7 -	Classification des types d'altération et répartition dans les paysages	30
Illustration 8 -	Schéma d'organisation de surfaces d'érosion étagées	31
Illustration 9 -	Carte des paléosurfaces (âge supposé de l'altération)(cf. planche hors texte 3 à 1/250 000).....	32
Illustration 10 -	Réseau hydrographique principal sur la zone d'étude	36
Illustration 11 -	Localisation des stations météorologiques sélectionnées	37
Illustration 12 -	Evolution annuelle des précipitations aux stations météorologique de Quins, Angles et Entraygues sur Truyère	38
Illustration 13 -	Caractéristiques des différents types d'ouvrages répertoriés dans la BSS	40
Illustration 14 -	Cartographie des ouvrages répertoriés dans la BSS présentant des informations lithologiques	41
Illustration 15 -	Extrait de banque de données sur les informations lithologiques issues de la BSS.....	42
Illustration 16 -	Répartition des ouvrages BSS avec données lithologiques en fonction de leur profondeur	43
Illustration 17 -	Localisation des ouvrages connus recoupant la limite Arènes/Horizon fissuré à partir des informations issues de la BSS	44
Illustration 18 -	Extrait de la banque de données sur les informations hydrogéologiques disponibles sur le secteur d'étude	46
Illustration 19 -	Localisation des ouvrages issus de la BSS et présentant des informations hydrogéologiques sur le secteur d'étude	47
Illustration 20 -	Répartition des ouvrages repertoriés en BSS selon leur profondeur et présentant des données hydrogéologiques.	48
Illustration 21 -	Répartition des données hydrogéologiques utiles en fonction de la profondeur des ouvrages	48
Illustration 22 -	Répartition des débits des sources en périodes d'étiage.....	49
Illustration 23 -	Localisation des sources sur la zone d'étude.....	50
Illustration 24 -	Localisation des ouvrages renseignés par un niveau d'eau sur la zone d'étude	52
Illustration 25 -	Répartition des ouvrages selon la profondeur du niveau hydrostatique sur la zone d'étude	53

Illustration 26 - Localisation des forages présentant des données de débit sur la zone d'étude.....	54
Illustration 27 - Localisation des ouvrages présentant des essais de pompage et/ou de perméabilité.....	55
Illustration 28 - Chronique de débit de la station hydrométrique de Jaledieu (Tarn).....	56
Illustration 29 - Présentation des stations hydrométriques sélectionnées	57
Illustration 30 - Localisation des stations hydrométriques et des bassins versants sélectionnés.	58
Illustration 31 - Présentation des données de débits spécifiques et de pluviométrie sur les stations hydrométriques sélectionnées.....	60
Illustration 32 - Classement des formations de socle en fonction de leurs données de débits spécifiques.....	61
Illustration 33 - Corrélation pluviométrie / débit spécifique.....	62
Illustration 34 - Prélèvements sur la zone d'étude en fonction de la nature de l'ouvrage	63
Illustration 35 - Répartition des prélèvements journaliers moyens par usage (sources : AEAG, fichier SISE Eau).....	63
Illustration 36 - Localisation des prélèvements AEP et industriels sur la zone d'étude (sources : fichiers des prélèvements en eau souterraine de AEAG, et SISE Eau).....	64
Illustration 37 - Teneurs en éléments traces dans les eaux souterraines (d'après Blum et al., 2002)	66
Illustration 38 - Lithologie associée aux aquifères des parties sud et ouest du Massif central et principaux éléments présents. (BRGM/RP-55346-FR)	68
Illustration 39 - Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères des parties sud et ouest du Massif Central et analyse prédictive des occurrences en éléments traces dans les eaux. (BRGM/RP-55346-FR)	68
Illustration 40 - Présentation des masses d'eau souterraine constituant la zone de socle dans le Massif Central en Midi-Pyrénées	69
Illustration 41 - Localisation des masses d'eau souterraine constituant la zone de socle dans le Massif Central en Midi-Pyrénées	69
Illustration 42 - Niveau de confiance attribué à la délimitation des zones à risque de fond géochimique élevé.	70
Illustration 43 - Zone couverte par l'inventaire minier national et la distribution de l'échantillonnage sur la zone d'étude.....	72
Illustration 44 - Statistiques globales sur le set d'échantillons de l'inventaire minier	73
Illustration 45 - Zone couverte par les valeurs anormales des éléments sélectionnés dans l'inventaire minier national.....	74
Illustration 46 - Localisation des gîtes et indices miniers relatifs à la zone d'étude	76
Illustration 47 - Exemple de fenêtre du SIG sur les potentialités aquifères des formations de socle	77
Illustration 48 - Carte des formations de socle dans le Massif Central en Midi-Pyrénées	79

Illustration 49 - Codage des formations géologiques en fonction de leur composition pétrographique	80
Illustration 50 - Localisation des arrêts effectués lors de la campagne de terrain	83
Illustration 51 - Lithothèque mise en place au sein du SGR Midi-Pyrén.....	85
Illustration 52 - Coupe de la cuirasse des Fargues (feuille Decazeville)	86
Illustration 53 - Position de la coupe de l'illustration 52 (carte Decazeville)	87
Illustration 54 - Codage de l'altérabilité des formations géologiques.....	91
Illustration 55 - Carte de l'altérabilité (d'après la minéralogie)(cf. planche hors texte 2 à 1/250 000)	92
Illustration 56 - Superficies occupées par chaque classe d'altérabilité.....	93
Illustration 57 - Potentiel aquifère (d'après l'altérabilité et l'âge de l'altération)(cf. planche hors texte 4 à 1/250 000)	95
Illustration 58 - Statistiques de la carte du potentiel aquifère	96
Illustration 59 - Organigramme de réalisation de la carte de réserve en eau souterraine	100

Liste des annexes

Annexe 1 - Extrait de la banque de données géologique	105
Annexe 2 - Extrait de la banque de données hydrogéologiques	109
Annexe 3 - Inventaire des débits de forage sur la zone d'étude.....	113
Annexe 4 - Anomalies géochimique par élément trace spécifié dans la DCE (source : inventaire minier national)	117
Annexe 5 - Extrait de la Banque de données sur les indices et gites miniers	135
Annexe 6 - Extrait de la banque de données sur les informations pétrographiques collectées dans les notices des cartes géologiques au 1/50 000	139

Liste des planches hors-texte

- Planche 1 : Carte des replats (1/250 000)
- Planche 2 : Carte d'altérabilité (1/250 000)
- Planche 3 : Carte des paléosurfaces (1/250 000)
- Planche 4 : Carte du potentiel aquifère (1/250 000)

1. Introduction

La région Midi-Pyrénées est concernée par de nombreux secteurs géographiques dans lesquels la multiplicité de captages – généralement de petites sources vulnérables à très faible débit - rend difficile la gestion des ressources en eau souterraine, notamment pour l'alimentation en eau potable, en termes de quantité, qualité, et de protection de la ressource. Le plus souvent aucune diversification de la ressource n'a pu être mise en place en cas d'étiage sévère, d'augmentation estivale de la demande, ou de dégradation de la qualité des eaux.

Il est important de rationaliser la diminution du nombre de ces captages afin d'optimiser le traitement et la protection des ressources existantes et ainsi favoriser la reconquête des milieux.

Afin de mieux s'affranchir des problèmes liés à l'exploitation de ces petites sources (traitement lourd et onéreux, absence de diversification de la ressource, etc.), l'amélioration des connaissances hydrogéologiques et des potentialités aquifères des formations occupant ces secteurs s'avère indispensable.

Ces secteurs où foisonnent les captages concernent généralement des zones à habitat dispersé et peu dense, sans réelle possibilité d'exploiter les eaux de surface le plus souvent non accessibles ou absentes. De plus, elles sont constituées de formations géologiques dont le fonctionnement hydrogéologique est particulier eu regard des autres formations mieux connues comme les aquifères alluviaux ou karstiques. Il s'agit des formations de socle injustement réputées comme peu ou non aquifères, mais pour lesquelles les avancées de la recherche ont grandement progressées depuis une dizaine d'années, en proposant de nouveaux concepts et nouvelles méthodologies qui ont déjà pu être validés et appliqués avec succès en France et à travers le monde.

En effet, les ressources en eau souterraine que renferme le socle, peuvent apparaître modestes en termes de débit exploitable à chaque forage, en comparaison avec d'autres types aquifères (alluvions, karst). Elles sont néanmoins bien réparties géographiquement, et de ce fait, bien adaptées à l'habitat dispersé des régions de socle. Elles peuvent donc participer de façon significative au développement rural et économique des régions concernées, en particulier lorsque le recours aux eaux de surface est difficile.

Les objectifs prioritaires ont été définis par la Région Midi-Pyrénées en matière d'eaux souterraines. En effet, suite aux constats et aux préconisations de la Mission Régionale sur l'Eau, présentés en mars 2005, la Région Midi-Pyrénées a défini trois axes de priorité décroissante concernant la gestion de la ressource en eau :

- la maîtrise de la demande en eau,
- la gestion intégrée des ressources existantes,
- la création de nouvelles ressources.

Ces thèmes sont également repris dans le Plan Régional d'Economie d'Eau intégré dans l'Agenda 21, approuvé le 30 mars 2007 par les élus régionaux et dont les objectifs sont les suivants :

- la mise en œuvre d'un Plan Régional d'Economie d'Eau,
- le soutien aux programmes d'amélioration de la connaissance des eaux souterraines,
- et la pérennisation de la Mission Régionale sur l'Eau.

Parallèlement, la signature du Contrat de Projets Etat-Région (CPER) sur la période 2007-2013, a incité le BRGM, avec l'appui de ses principaux partenaires (administrations déconcentrées, agences d'objectifs, collectivités territoriales), à proposer un programme pluriannuel d'actions concertées.

Dans le cadre de ce programme, le Comité Régional de Programmation des actions de service public du BRGM et les collectivités territoriales, dont la Région, ont mis en avant le besoin de lancer une action d'amélioration et d'actualisation des connaissances hydrogéologiques en région Midi-Pyrénées.

L'ensemble de ces réflexions a conduit à l'élaboration du programme ONGERE (**O**util d'aide à la décision pour la **G**estion durable des **R**essources en **E**au) dont l'objectif est, à partir d'une série d'études planifiées sur six années, d'aboutir à une amélioration de la connaissance sur les eaux souterraines suffisante pour permettre la mise en œuvre d'un outil d'aide à la décision sur le territoire régional, et ainsi doter les politiques publiques d'une vision claire, efficace et cohérente, sur le moyen et le long terme, en matière de gestion durable des ressources en eau en Midi-Pyrénées.

Les objectifs de ce projet s'intègrent totalement aux orientations fondamentales du nouveau Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Adour-Garonne en vigueur sur la période 2010-2015. En effet, celles-ci mettent notamment l'accent sur les points suivants :

- gérer durablement les eaux souterraines, préserver et restaurer les fonctionnalités des milieux aquatiques et humides,
- maîtriser la gestion quantitative de l'eau dans la perspective du changement climatique.

Toutes ces orientations soulignent le besoin en connaissances sur les eaux souterraines de la région Midi-Pyrénées et confirment la nécessité d'aboutir à une gestion durable de la ressource en eau.

Les formations de socle (roches plutoniques et métamorphiques du Paléozoïque) couvrent environ 9 000 km² en région Midi-Pyrénées. Elles se répartissent sur deux principaux secteurs: au sud (chaîne des Pyrénées), au nord et à l'est (schistes, massifs cristallins). La pression des besoins locaux rend aujourd'hui nécessaire d'améliorer la connaissance hydrogéologique des formations de socle en région Midi-Pyrénées, afin de favoriser la mise en adéquation « ressources et besoins » et de proposer aux décideurs des ressources alternatives notamment sur le plan quantitatif.

La présente étude s'inscrit dans le module B du programme ONGERE « amélioration des connaissances des formations de socle en région Midi-Pyrénées », et s'appuie donc sur les nouveaux concepts sur la structure et le fonctionnement des aquifères de socle. Ses résultats sont indispensables pour mener à bien et en toute cohérence le programme ONGERE (sensibilité à la sécheresse, ressources alternatives, caractérisation détaillée des masses d'eau souterraine, actualisation des synthèses hydrogéologiques départementales). Elle est scindée en deux phases :

- Phase 1 : secteur « Massif Central », au nord-est de la région, 7 400 km² (2009-2010)
- Phase 2 : secteur « chaîne pyrénéenne », au sud de la région, 2 800 km² (2011-2012)

La présente étude concerne la phase 1 de ce programme. Elle est organisée de la façon suivante :

- rappel méthodologique sur les nouveaux concepts sur la structure et le fonctionnement des aquifères de socle, et mis en œuvre dans le cadre de l'étude ;
- définition des différents contextes géographique, géologique, géomorphologique et hydrographique ;
- données « utiles » collectées ;
- mise en œuvre des reconnaissances de terrain ;
- potentialités aquifères des formations de socle sur le secteur « Massif Central » de la région Midi-Pyrénées.

2. Objectif

Ce projet a pour principal objectif d'établir une typologie des formations de socle en termes de potentialités aquifères, et de hiérarchiser ces formations en fonction de leur intérêt hydrogéologique sur l'ensemble de la région Midi-Pyrénées, sur le secteur « Massif Central » dans le cadre de la phase 1. Le travail s'appuie sur les données bibliographiques existantes et disponibles, et principalement sur une reconnaissance sur le terrain de toutes les formations géologiques de socle représentatives en terme de superficie (à l'échelle 1/50 000).

Les objectifs à moyen terme sont de :

- **rationaliser** la diminution du nombre de captages,
- **optimiser** le traitement et la reconquête des milieux,
- identifier des **ressources alternatives** en terme de quantité,
- **améliorer** la connaissance des potentialités aquifères des formations de socle pour permettre aux décideurs de mieux guider leurs actions locales dans le cadre de programmes complémentaires sur des formations de socle identifiées comme intéressantes en fonction des besoins et contraintes identifiées.

Cette étude doit également permettre d'appuyer transversalement l'ensemble des modules du programme ONGERE nécessaires à la conception de l'outil régional d'aide à la décision (actualisation des synthèses hydrogéologiques départementales comportant des formations de socle, identification de ressources alternatives, sensibilité à la sécheresse des ressources en eau souterraine, confrontation ressources / besoins, caractérisation détaillée des masses d'eau souterraine, etc.).

3. Rappel méthodologique

3.1. NOUVEAUX CONCEPTS SUR LA STRUCTURE ET LE FONCTIONNEMENT DES AQUIFERES DE SOCLE

Jusque vers la fin des années 1990, l'eau souterraine des régions de socle métamorphique ou plutonique était considérée comme localisée dans des aquifères discontinus, isolés les uns des autres (absence de nappe généralisée), et associés à des couloirs de fracturation plus ou moins verticaux hérités de l'histoire tectonique de la région (cf. Illustration 1). Il était considéré que ces aquifères étaient alimentés depuis la surface à travers une mince couche d'altération (2 à 3 m).

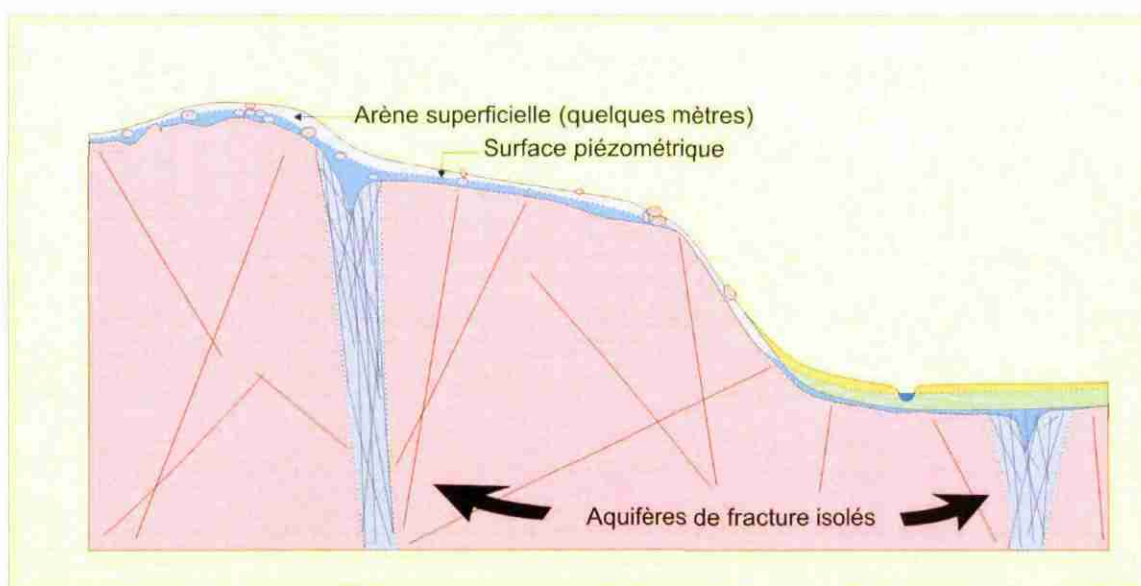


Illustration 1 - Modèle ancien d'aquifère de socle.

Entre 1995 et 2000, les travaux de recherche développés au BRGM sur les propriétés physiques des profils d'altération ont abouti à la révision du concept d'aquifère de socle. Le premier résultat a été de mettre en évidence, sous la partie meuble des profils d'altération, une zone de roche dure intensément fissurée (appelée « horizon fissuré »), d'une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres. Les travaux cartographiques menés en parallèle sur les zones de socle ont par ailleurs mis en évidence l'omniprésence de puissantes couvertures d'altération (plusieurs dizaines de mètres), élaborées à des époques géologiques variées lors des périodes d'émersion. L'ensemble des observations réalisées depuis, tant en France que sur différents continents, montre que l'épaisseur de l'horizon fissuré est environ le double de celle de la partie meuble des profils d'altération lorsque ceux-ci sont complets.

L'origine des fissures constituant l'horizon fissuré réside dans le processus même de l'altération : certains minéraux, notamment la biotite, les pyroxènes, l'olivine, sont très instables en présence d'eau et s'altèrent en augmentant de volume. La biotite subit une augmentation de volume d'1/3 environ : l'écartement des feuillets passe de 10 Å à 14 Å lorsqu'elle se transforme en chlorite ou en vermiculite. Cette transformation se fait au sein de l'horizon fissuré, à plusieurs dizaines de mètres de profondeur.

Dans ces conditions, le gonflement dans le plan horizontal est impossible (sauf à proximité des fissures préexistantes) car le milieu est assimilé à un milieu infini: il en résulte une augmentation des contraintes horizontales. Dans le plan vertical, le gonflement ne sera possible que lorsque la contrainte verticale sera supérieure ou égale à la charge lithostatique.

Dans un granite, dès que la charge lithostatique est compensée, la contrainte verticale n'augmente plus et elle est remplacée par de la dilatation, alors que les contraintes horizontales continuent à augmenter ; les contraintes maximales (σ_1 et σ_2 du tenseur de contraintes sont alors horizontales, tandis que la contrainte minimale (σ_3) est verticale). Lorsque la différence d'intensité entre contrainte maximale horizontale et contrainte verticale (le « déviateur de contraintes » au sens mécanique) dépasse le seuil de rupture de la roche, il y a apparition de fissures, qui seront parallèles aux deux composantes maximales du tenseur de contraintes (c'est-à-dire horizontales dans le cas d'un granite). Dans les roches isotropes comme les granites ou bien dans les roches à foliation verticale, les fissures créées seront principalement horizontales (cf. Illustration 2). Dans les roches plissées (schistes et micaschistes), les fissures sont orientées de manière aléatoire. Lorsque la foliation est horizontale, il n'y aura pas d'augmentation des contraintes horizontales, et la roche va gonfler comme une éponge en se feuilletant.

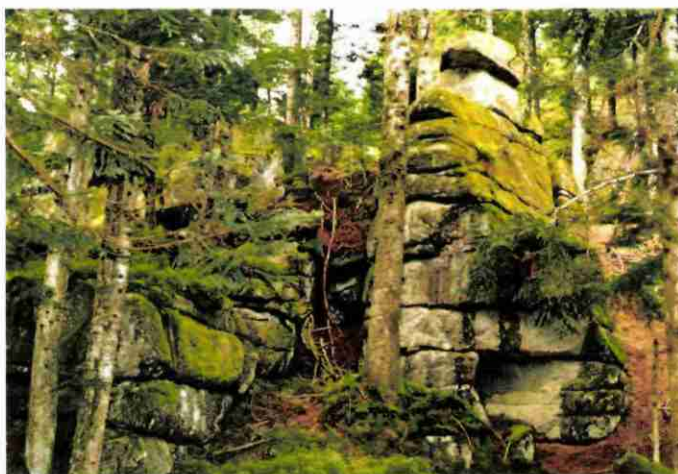


Illustration 2 - L'horizon fissuré dans un granite du Livradois (sud de Thiers).

La fréquence des fissures est maximale au sommet de l'horizon fissuré et décroît du haut vers le bas. La densité de fissures et leur ouverture déterminent la porosité de la roche, leur interconnexion détermine sa perméabilité. Porosité et perméabilité décroissent du haut vers le bas.

Le nouveau modèle d'aquifère de socle (cf. Illustration 3) consiste en un aquifère multicouches (altérites meubles + horizon fissuré), stratiforme, avec présence d'une nappe continue comme dans les bassins sédimentaires. Les nombreuses études réalisées tant en France (Massif armoricain) qu'à l'étranger (notamment en Inde) ont permis de caractériser les propriétés physiques de ce type d'aquifère. La porosité efficace des altérites varie de manière importante selon la lithologie : assez faible (2 à 4 %) pour les altérites à dominante argileuse provenant de l'altération de schistes et de micaschistes, et peut atteindre 7 à 8 % dans les arènes. Dans l'horizon fissuré, la porosité efficace maximale, dans les 15 m supérieurs de l'horizon fissuré, varie de 3 à 6 % en moyenne selon l'abondance et la taille des minéraux gonflants (principalement la biotite). Cette porosité diminue vers le bas pour devenir nulle à la base de l'horizon fissuré.

Dans le Massif armoricain, la quantification de la réserve en eau souterraine grâce aux modélisations géométriques des aquifères, couplée à la mesure des teneurs en eau par Résonance Magnétique Protonique (RMP) montre que 85 à 90 % de la réserve en eau est contenue dans l'horizon fissuré. Bien que ce dernier ait très souvent des porosités plus faibles que celles des altérites, il contient une réserve beaucoup plus importante que les altérites, car celles-ci ne sont jamais complètement saturées, le niveau piézométrique se situant généralement dans leur partie inférieure.

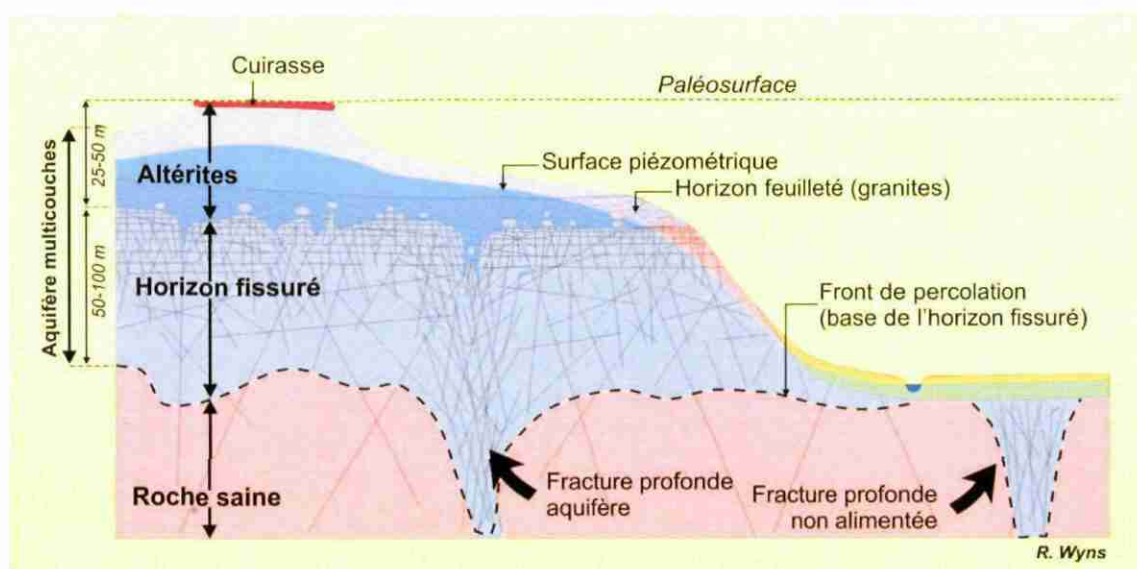


Illustration 3 - Le nouveau modèle conceptuel d'aquifère de socle.

La perméabilité dans les altérites est en moyenne comprise entre 10^{-7} et $5 \cdot 10^{-6}$ m/s (Dewandel *et al.*, 2006) en fonction de leur teneur en argile ; celle de l'horizon fissuré est comprise entre 10^{-6} et $5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Dans le cas où l'horizon fissuré est caractérisé par des joints horizontaux (granites non déformés et gneiss à foliation verticale), la perméabilité est fortement anisotrope, avec une perméabilité horizontale atteignant 2 à 30 fois la valeur de la perméabilité verticale (Maréchal *et al.*, 2003).

3.2. METHODOLOGIE MISE EN OEUVRE

Différents *critères* contrôlent l'aptitude d'une formation géologique de socle à développer un aquifère lorsqu'il est soumis à l'altération : la composition minéralogique et la texture, les caractéristiques structurales, l'âge de l'altération. La minéralogie des formations géologiques a été déduite des notices des cartes géologiques et complétée par les reconnaissances de terrain. Il en est de même pour les caractéristiques texturales et structurales. L'identification des différentes paléosurfaces et de l'âge de l'altération a été réalisée pour l'essentiel à partir des nombreuses reconnaissances de terrain, qui sont récapitulées au chapitre 6, et des données bibliographiques (notamment travaux de R. Simon-Coinçon, J.M. Schmitt et L. Bruxelles).

3.2.1. Composition minéralogique

Les principaux minéraux gonflants, responsable de l'acquisition d'une porosité de fissures lors de l'altération, sont les micas (et en particulier la biotite), les pyroxènes et l'olivine. Pyroxène et olivine ne sont présents dans le Massif central que dans les formations basiques et ultrabasiques qui occupent des superficies réduites à l'échelle de la région par rapport aux granites, micaschistes et gneiss. En conséquence et pour la région étudiée, c'est la teneur en biotite qui est le meilleur indicateur de la présence possible d'un aquifère. Plus une roche est riche en biotite et plus l'altération peut développer un horizon fissuré avec de bonnes caractéristiques de porosité et de perméabilité. Parmi les formations géologiques présentes dans la région, les granodiorites et les granites à biotite sont les plus favorables. Les roches basiques et ultrabasiques (amphibolites, éclogites, dérivées de roches volcaniques) n'offrent que peu d'intérêt, d'une part parce que les superficies recouvertes sont souvent faibles, mais surtout car la plupart des minéraux gonflants ont été hydratés (transformation des pyroxènes en amphibole et des olivines en serpentine) lors du métamorphisme. Par ailleurs, outre la composition minéralogique, la texture de la roche entre en compte, notamment la taille des minéraux gonflants : plus ceux-ci sont de grande taille et plus la roche se fissurera ; à composition minéralogique identique, un granite à grain très fin s'altère beaucoup moins qu'un granite à gros grain.

3.2.2. Caractéristiques structurales

L'orientation des minéraux gonflants influence de manière importante le type et la géométrie des fissures créées lors de l'altération. Dans les micaschistes et les gneiss du Massif central où la foliation (qui contient les biotites) est proche de l'horizontale, l'aptitude à développer une porosité et une perméabilité intéressantes est plus faible que là où cette foliation est soit plissée, soit proche de la verticale. Toutefois, les études réalisées dans des micaschistes précambriens du Maine et Loire où le pendage moyen de la foliation est de 30° (Wyns *et al.*, 2005) montrent des porosités intéressantes (2 à 5 %).

3.2.3. Age de l'altération

Pour que la porosité créée par l'altération puisse permettre la circulation de l'eau souterraine, il faut que cette porosité soit restée ouverte depuis sa création jusqu'à nos jours. Les données acquises dans le Massif armoricain montrent que c'est le cas pour les altérites d'âge Crétacé inférieur et Tertiaire, car ces profils d'altération n'ont jamais été enfouis profondément sous des formations plus récentes. Il en va tout autrement pour les profils d'altération plus anciens qui occupent d'importantes superficies dans le Massif Central : profils d'âge Carbonifère, infra-Permien, infra-Trias, infra-Lias. Le profil d'altération infra-triasique a été étudié dans les Vosges dans le cadre d'un projet de recherche (Wyns *et al.*, 2010). Bien que l'horizon fissuré, d'une puissance de plus de 150 m, soit bien développé et très épais, les porosités mesurées sont inférieures ou égales à 1 %. L'étude des lames minces, réalisées grâce à un forage carotté, montre que les fissures de l'horizon fissuré ont été colmatées au cours de l'histoire géologique par un mélange de carbonates et de sulfates, déposé par des circulations d'eau fortement minéralisée lors de l'enfouissement du profil sous une forte épaisseur de sédiments (Trias + Jurassique au moins, épaisseur de plus de 1 000 m). Dans le Rouergue cristallin (détroit de Rodez), les travaux réalisés (Schmitt, 1986 ; Simon-Coinçon, 1989 ; Simon-Coinçon *et al.*, 1995, Simon-Coinçon 1999) montrent que la création du profil d'altération antétriasique a été suivie d'une phase d'albitisation datée de la fin du Trias. Celle-ci a dû provoquer, là aussi, le colmatage des fissures préexistantes, colmatage qui a été complété pendant la transition Trias-Lias par la cristallisation de dolomies dans les fissures du socle (altération additive).

Dans le Massif Central, il est donc vraisemblable que les profils d'altération antérieurs au Lias aient été colmatés par différents types de minéralisations. La connaissance de l'âge de l'altération des formations géologique est donc un point important dans la détermination des potentialités aquifères. C'est l'objet de l'esquisse géomorphologique régionale qui est présentée dans ce rapport (§ 7).

4. Contexte

4.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Les formations du socle du Massif Central en région Midi-Pyrénées couvrent à l'affleurement une superficie d'environ 6 300 km² et s'étendent sur une bonne partie des départements de l'Aveyron (12), du Tarn (81), et dans une moindre mesure la partie nord-est du Lot (46). L'illustration 4 présente la zone d'étude sur un fond IGN à 1/250 000, ainsi que les principaux cours d'eau et les coupures des cartes géologiques à 1/50 000 concernées par les formations de socle (31 au total).



Illustration 4 - Présentation de la zone d'étude.

4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La zone d'étude est limitée aux terrains métamorphiques et plutoniques du socle du Massif central (cf. Illustration 5) :

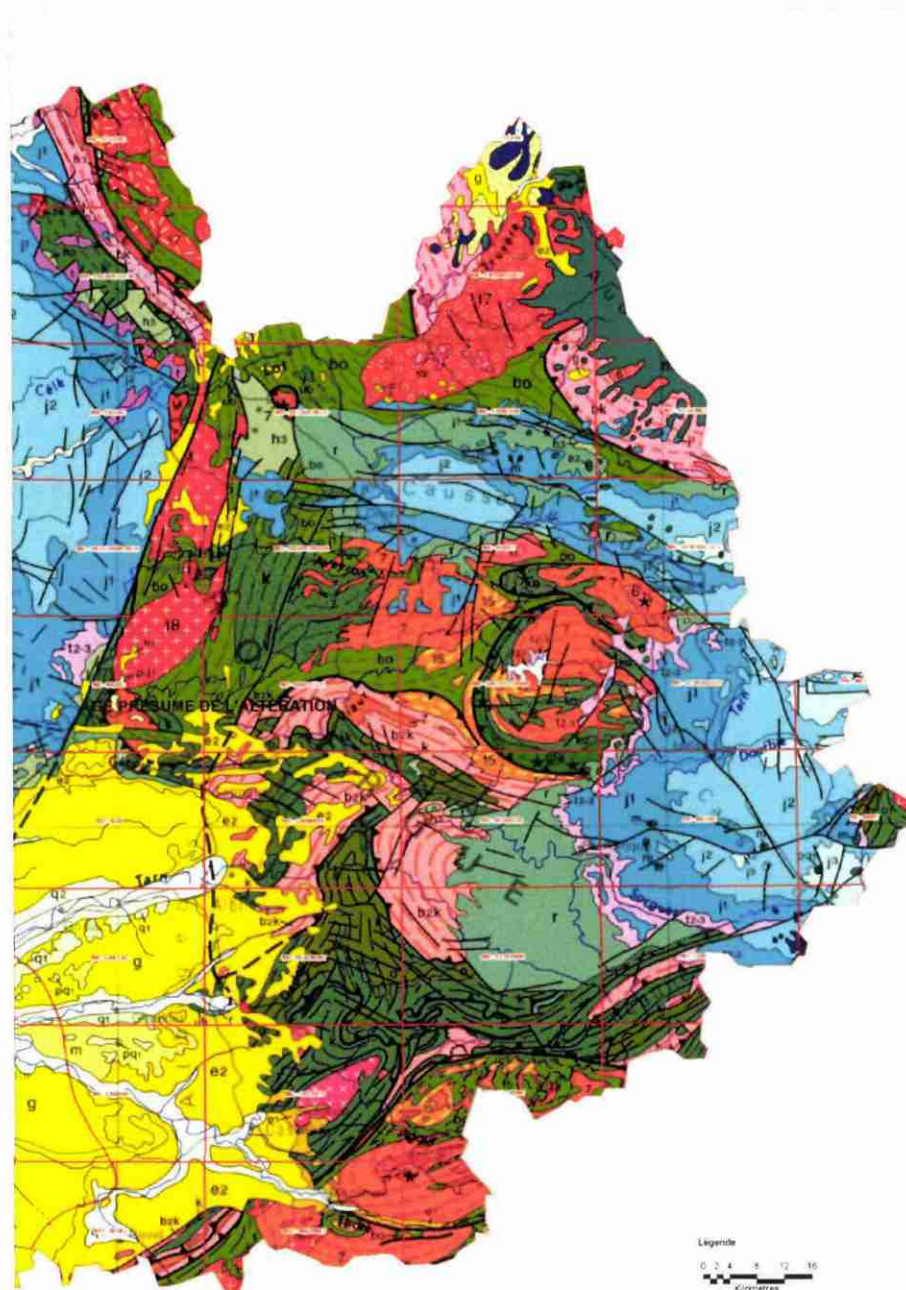


illustration 6 Cadre géologique de l'étude,
d'après la carte géologique de la France à 1/100 000.

- au nord-ouest, il s'agit des formations situées à l'ouest du sillon houiller, avec les formations très déformées jalonnant le prolongement vers le sud de la faille

- d'Argentat (groupe leptyno-amphibolique) et les unités métamorphiques de type Limousin, recoupées par des diorites, des granites à biotite et des leucogranites ;
- au nord du détroit de Rodez, se placent les unités métamorphiques de l'Aubrac, recoupées par le granite d'Entraygues sur Truyères mis en place à 309 MA, et recouvertes par les coulées volcaniques miocènes de l'Aubrac ;
 - le « détroit de Rodez », qui s'étend de Figeac à Séverac le Château, forme un graben allongé selon une direction N. 100. Il comprend de bas en haut des dépôts sédimentaires houillers d'âge Stéphanien (bassin houiller de Decazeville), surmontés de sédiments permien, puis de sédiments jurassiques (Lias et Dogger : Causse de Rodez).
 - au sud du détroit de Rodez, réapparaît le socle anté-stéphanien, constituant le Rouergue cristallin. Limité à l'ouest par la faille de Villefranche de Rouergue et à l'est par les Grands Causses, il est constitué d'un empilement d'unités métamorphiques, avec, dans la partie est, le dôme du Lévezou comprenant un groupe leptyno-amphibolique à reliques d'éclogites. Des restes de couverture triasique jalonnent la surface du Lévezou.
 - plus au sud, le Permien du bassin de Saint-Affrique occupe l'essentiel des feuilles de Réquista et Saint Sernin sur Rance. Ce Permien est recouvert à l'est par le Trias, puis le Jurassique des Grands Causses, et repose à l'ouest et au sud-ouest sur des unités épimétamorphiques, les nappes de l'Albigeois, à vergence sud.
 - plus au sud, les Monts de Lacaune et leur prolongement vers l'ouest (feuille Castres) sont constitués d'un empilement d'unités métamorphiques épizonales à mésozonales à vergence sud, mises en place au Dévonien moyen à supérieur. Les monts de Lacaune sont limités au sud par la faille de Lacaune, faille sensiblement est-ouest et s'incurvant vers le sud-ouest sur la feuille de Castres, qui a joué en faille inverse à regard nord au Tertiaire (compression pyrénéenne, fin de l'Eocène moyen). A l'ouest, les unités métamorphiques sont recoupées par le granite du Sidobre.
 - au sud de la faille de Lacaune, il s'établit le domaine axial de la Montagne Noire, formé d'unités métamorphiques méso- à catazonales. Ce domaine est divisé en deux entités se situant de part et d'autre de la faille inverse éocène de Mazamet : le massif de l'Agout au nord, et le Massif de Nore au sud. La faille de Mazamet fait chevaucher le massif de Nore sur les dépôts tertiaires continentaux du sillon de Mazamet (feuille Mazamet) ; des brèches sédimentaires syntectoniques jalonnent l'accident. Le Massif de Nore, au sud de la faille de Mazamet, constitue la suite de la zone axiale de la Montagne Noire avec des micaschistes et des orthogneiss recoupés par des granitoïdes tardifs. Sur le revers sud du Massif de Nore, en limite sud de la zone d'étude, les terrains métamorphiques sont recouverts par la série tertiaire transgressive de la plaine de Carcassonne.

La tectonique pyrénéenne affecte la zone d'étude de façon d'autant plus intense qu'on se déplace vers le sud :

- les failles bordières du détroit de Rodez, qui se prolongent vers l'est en direction de Séverac le Château, ont probablement joué en failles normales au Jurassique et au Crétacé inférieur, lors de l'ouverture du Golfe de Gascogne ; elles ont été clairement

réactivées en failles inverses à l'Eocène lors de la compression pyrénéenne : ceci est bien visible sur la carte Séverac le Château, notamment pour la faille des Palanges, séparant le Rouergue Cristallin du causse de Séverac ;

- la faille de Lacaune, bien marquée dans la topographie, est une faille inverse à regard nord dont l'essentiel du fonctionnement est à rapporter à la compression pyrénéenne ; elle se prolonge vers l'est en direction de Bédarieux ;
- la faille de Mazamet est un chevauchement à regard nord dont le jeu principal se rapporte également à la compression pyrénéenne ; elle se prolonge vers l'est en direction de Saint Pons.

4.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

4.3.1. Préambule

La réalisation de la carte géomorphologique a nécessité un important travail de terrain consistant à visiter tous les indices permettant d'identifier un marqueur susceptible de renseigner l'âge de l'altération. L'identification des paléosurfaces présentes sur la zone d'étude a bénéficié des acquis réalisés antérieurement sur le Limousin (rapport BRGM/RP-57901-FR).

Préalablement au travail de terrain, le traitement du Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 50 m a permis de cartographier les replats topographiques, qui représentent généralement des portions préservées de paléosurfaces, et permettent de mettre en évidence les dénivellations entre surfaces étagées.

La planche hors-texte 1 et l'illustration 6 reproduisent cette carte des replats, ainsi qu'un certain nombre de lieux géographiques et d'entités géomorphologiques cités dans le texte. Elle a été réalisée en représentant par une échelle de couleurs les zones dont la pente est inférieure ou égale à 3,5° ; pour les zones de pente supérieure à cette valeur l'ombrage du relief est représenté en teinte grisée.

29

4.3.2. Rappels théoriques

Les différents types d'altération se répartissent en une série continue allant d'un pôle soustractif (latérites *s.l.*) à un pôle additif (silcrètes et meulière, calcrètes, dolocrètes, etc.) (cf. Illustration 7). Les altérations soustractives sont caractérisées par une exportation nette de matière due à une mise en solution dans l'eau des éléments chimiques les plus solubles et libérés par l'hydrolyse des minéraux. Les altérations additives sont caractérisées par un apport net de matière. Les altérations soustractives se développent dans les points hauts du paysage, où l'eau est sans cesse renouvelée sous l'effet d'un gradient hydraulique régional, et les altérations additives dans les points bas, où l'évapotranspiration au niveau de la frange capillaire de la nappe contribue à concentrer les solutions.

Les altérations qui permettent le développement d'un horizon fissuré correspondent à des altérations soustractives (profils latéritiques au sens large).



Illustration 7 - Classification des types d'altération et répartition dans les paysages.

Le développement d'un profil d'altération soustractive d'épaisseur significative nécessite que la région soit émergée pendant une longue période (plusieurs dizaines de millions d'années), avec une altitude élevée au-dessus du niveau de la mer, et une surface topographique dont la pente est aussi faible que possible. En effet, ces conditions sont nécessaires pour créer un gradient hydraulique régional permettant à l'eau d'infiltration de s'écouler et ainsi d'être en permanence en déséquilibre géochimique avec la roche. Ceci explique que les paléoaltérations sont toujours associées, à l'échelle régionale, à une « surface d'aplanissement » (ou « pénéplaine »). Par ailleurs, une paléosurface peut avoir été enfouie sous des sédiments puis exhumée par l'érosion à la suite d'un soulèvement régional. Si le soulèvement est assez important, et qu'il est suivi par une longue période de stabilité

tectonique, une deuxième surface d'érosion peut se créer en contrebas de la première. Un talus de raccordement bien visible dans la topographie sépare alors les deux surfaces (cf. Illustration 8).

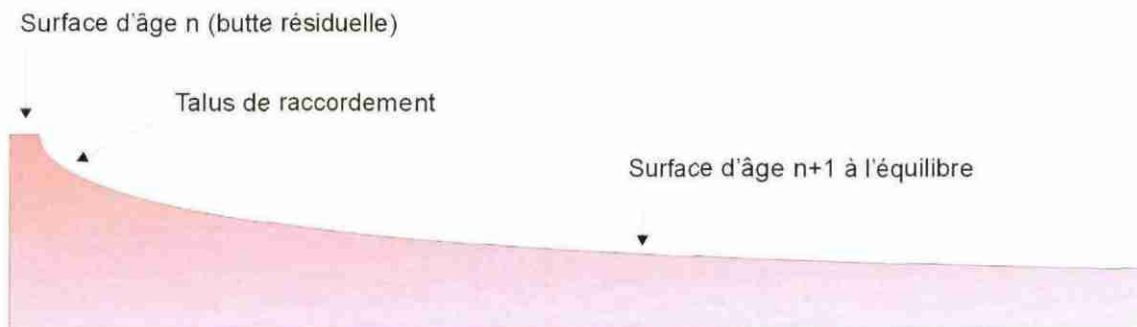


Illustration 8 - Schéma d'organisation de surfaces d'érosion étagées.

Les différents marqueurs permettant de dater l'altération sont les suivants :

- altération affectant une formation géologique d'âge connu : l'altération est postérieure à la mise en place de cette formation ;
- altération scellée par une formation géologique d'âge connu : l'altération est antérieure à cette formation ;
- relations géométriques entre surfaces étagées : la surface la plus basse (en incision) est la plus récente.

Il est présenté ci-après la liste des paléosurfaces et de leurs profils d'altération identifiés dans la zone d'étude.

La carte géomorphologique correspondante est présentée sur la planche hors-texte 3 et sur l'illustration 9.

4.3.3. Altérations carbonifères

Le contact des premiers sédiments carbonifères sur le socle cristallin montre systématiquement des vestiges de profils latéritiques plus ou moins tronqués par l'érosion. Les restes de paléosurfaces carbonifères sont largement représentés dans la zone d'étude : il s'agit pour l'essentiel de paléosurfaces scellées par les dépôts stéphanien (feuilles Lacapelle-Marival, Maurs, Figeac, Decazeville, Espalion, Rodez, Séverac le Château, Najac, Saint Beauzély, Albi, Réquista, Réalmont, Bédarieux). Dans le bassin houiller de Decazeville, des bauxites interstratifiées dans les dépôts stéphanien ont été décrits (Bellenguez et Revel, 1986) : il s'agit de bauxites resédimentées à partir de profils en place sur des horsts de socle.

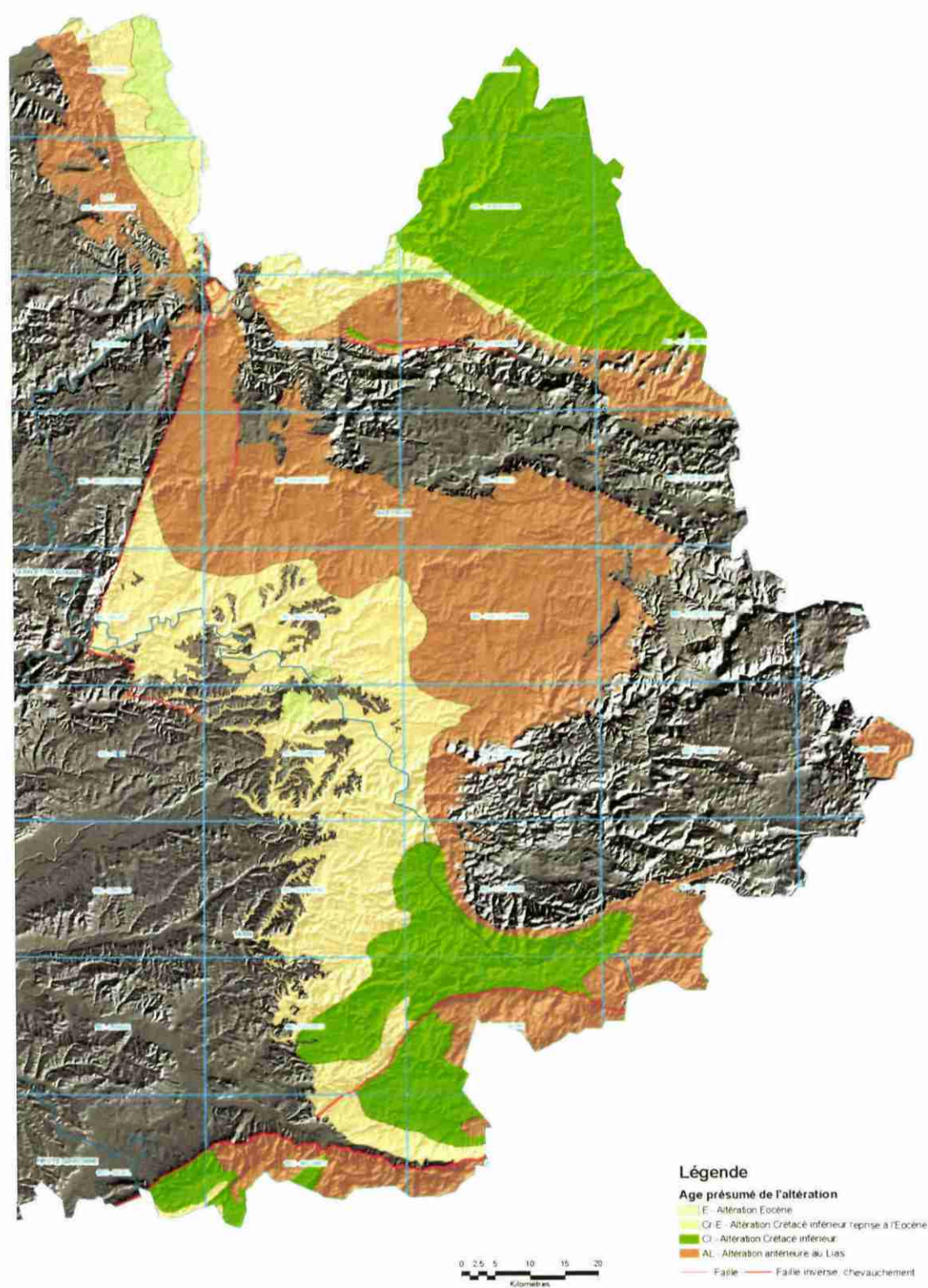


Illustration 9 - Carte des paleosurfaces (age suppose de l'altération)
(cf. planche hors texte 3 à 1/250 000).

4.3.4. Surface antépermienne

La surface anté-permienne est largement représentée dans toute la zone d'étude, notamment de part et d'autre du détroit de Rodez (bassin de Decazeville-Espalion), et en bordure du bassin de Sainte-Affrique. L'observation de contacts entre socle et premiers sédiments permien montre la présence d'anciens profils latéritiques, pour la plupart tronqués par l'érosion précédant les premiers dépôts.

4.3.5. Surface antétriasique

La surface antétriasique est bien préservée dans le prolongement sud du bassin de Brive (feuilles Lacapelle-Marival et Figeac), ainsi que sur la dorsale de Rieupeyroux au sud du détroit de Rodez (feuilles Rieupeyroux, Rodez, Séverac le Château, Naucelle, Salles-Curan, Saint Beuzély, Réquista). Cette paléosurface porte la trace de deux types d'altération :

- un profil latéritique antérieur aux premiers dépôts triasiques ; ce profil latéritique est connu dans toute l'Europe de l'ouest, et il montre des épaisseurs très importantes sur la façade est du Massif Central et dans les Vosges (horizon fissuré atteignant plus de 150 m) ;
- le substratum, altéré avant le dépôt des sédiments du Trias, a été ensuite affecté par des phénomènes d'albitisation ; ces albitisations résultent de circulations de solutions saturées en sodium (eau de mer) dans la zone de mélange entre eaux continentales et eaux marines. Ces phénomènes ont eu lieu sous couverture, à la fin du dépôt des grès du Trias (Schmitt, 1986 ; Simon-Coinçon, 1989 ; Simon-Coinçon *et al.*, 1995 ; Simon-Coinçon, 1999).

Les phénomènes d'albitisation, qui se traduisent par une coloration rose des roches du socle, sont bien exposés dans le Rouergue, et en particulier autour et au sud de Rodez.

4.3.6. Surface anté-liasique

Il n'y a pas d'évidence démontrée dans la zone d'étude de vestiges de profil latéritique infra-liasique préservés sur le socle. Par contre de nombreuses observations de terrain montrent que cette surface a été affectée avant les premiers dépôts liasiques par des altérations additives de type dolocrète et calcrète, bien visibles dans le Rouergue et dans le détroit de Rodez (Simon-Coinçon, 1989). Il n'y a donc pas d'occurrences d'aquifères de socle liées à cette paléosurface dans l'état actuel des connaissances.

4.3.7. Surface infra-crétacée

Au Crétacé inférieur, un événement géodynamique majeur affecte la partie sud-ouest de la France : l'ouverture du golfe de Gascogne accompagné de la formation de croûte océanique. Les bordures continentales du rift sont alors soulevées et sont soumises à l'érosion : ce sont les « épaulements du rift », dont l'altitude a du atteindre 1 à 3 km en prenant comme références les bordures de la Mer Rouge, ou bien celles de l'Atlantique

nord, dont l'Ecosse et la Scandinavie forment l'épaulement oriental (Wyns *et al.*, 2003). La région allant du Massif armoricain aux Cévennes appartenait à l'épaulement nord-est du golfe de Gascogne. L'érosion consécutive à ce soulèvement a eu pour effet de décaper partiellement ou totalement la couverture sédimentaire mésozoïque (Trias-Jurassique), et de mettre à nu le socle hercynien dans le Massif armoricain et sur la façade sud-ouest du Massif Central. Une fois la surface d'aplanissement à l'équilibre, un profil d'altération latéritique s'est développé. Il est bien exposé sur la bordure orientale du Massif armoricain et dans le Limousin (Monts de Blond, Monts d'Ambazac, plateau de Millevaches). Dans la zone d'étude, cette paléosurface recoupe le socle de Margeride-Aubrac (Feuilles Entraygues, Espalion, Saint-Geniez-d'Olt), puis vers le sud recoupe la série jurassique où elle se traduit par des dolomitisations suivies par des silicifications. Elle forme la surface du plateau du Larzac, où des restes de profils bauxitiques scellés par du Campanien marin sont préservés au sein de dépressions karstiques.

4.3.8. Surface éocène

La surface éocène s'est développée en Europe de l'ouest entre le début du Tertiaire et la fin de l'Eocène moyen dans l'avant-pays alpin en réponse à un soulèvement par flambage de la lithosphère continentale lors de la compression pyrénéenne. C'est la paléosurface la mieux conservée en France. Dans la zone d'étude, cette paléosurface est préservée, au nord du détroit de Rodez, en incision au pied de la surface infra-crétacée. Au sud du détroit de Rodez, elle occupe des superficies importantes et forme un glacis incliné vers l'ouest en direction du bassin aquitain. Elle est retrouvée sur le versant sud des Monts de Lacaune, où elle plonge sous le chevauchement à vergence nord de la Montagne Noire (Faille de Mazamet). Elle est présente également sur le versant sud de la Montagne Noire (feuille Carcassonne), où elle ne présente pratiquement plus de signe d'altération latéritique, car elle se place en limite méridionale de la zone affectée par le flambage lithosphérique éocène : les premiers dépôts tertiaires datés du Paléocène montrent des passées à faciès marin.

La surface éocène est la plus récente surface d'aplanissement portant un profil latéritique bien développé.

4.3.9. Zones de raccordement entre surface éocène et surface infra-crétacée

Au nord de Figeac, il est observé un relief de collines adoucies situées en périphérie de la surface infra-crétacée (préservée au sud d'Aurillac, hors zone d'étude). Ce secteur a été interprété comme des vestiges de profils d'altération infra-crétacés, repris à l'Eocène. Il en est de même en bordure sud de l'Aubrac. Il s'agit typiquement de régions où l'érosion éocène n'a pas complètement arasé les restes du profil d'altération infra-crétacé. Dans ces zones le profil d'altération éocène se superpose au profil infra-crétacé. Les données hydrogéologiques obtenues sur ce type de profil d'altération polyphasé, notamment en Inde (Dewandel *et al.*, 2006) montrent de bonnes propriétés aquifères.

4.4. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique sur les formations de socle du Massif Central est dense et très développé. Cinq principaux cours traversent d'est en ouest la zone d'étude :

- **Le Lot** prend sa source sur le versant sud de la montagne du Goulet en Lozère (48) à une altitude d'environ 1300 m, et se jette dans la Garonne dans le département du Lot-et-Garonne. Il traverse le nord du département de l'Aveyron. Le débit moyen interannuel de la rivière à Villeneuve-sur-Lot est de 151 m³/s par seconde. Le plus faible débit mensuel est de 32,5 m³/s.
- **Le Tarn** prend sa source sur le mont Lozère, dans la Lozère, et se jette dans la Garonne près de Castelsarrasin, dans le Tarn-et-Garonne (82). Son débit moyen est de 233 m³/s, et le plus faible débit mensuel moyen est de 54,9 m³/s.
- **l'Aveyron** prend sa source près de Sévérac-le-Château, dans l'Aveyron, et se jette dans le Tarn au nord-ouest de Montauban (département du Tarn-et-Garonne). Il traverse la quasi-totalité du département de l'Aveyron.
- **l'Agout** prend sa source à 1 100 m d'altitude dans le Parc naturel régional du Haut-Languedoc dans les monts d'Espinouse en Haut-Languedoc (département de l'Hérault), et se jette dans le Tarn à Saint-Sulpice (département du Tarn).
- **Le Dadou** prend sa source dans les monts de Lacaune sur la commune de Saint-Salvi-de-Carcavès dans le Tarn, et se jette dans l'Agout en rive droite, près d'Ambres, après avoir traversé d'est en ouest la totalité du département du Tarn.

L'illustration 10 présente le réseau hydrographique sur la zone d'étude en mentionnant les cinq cours d'eau présentés précédemment ainsi que les bassins versants d'ordre 1 de la banque de données Carthage.

Le réseau hydrographique secondaire est également très important. La zone d'étude compte également de nombreux lacs et étangs naturels ou aménagés par l'homme, les plus importants étant : le lac de Pareloup (1 290 ha), le réservoir de Villefranche de Panat (192 ha), le réservoir de Laouzas (335 ha), réservoir de la ravière (440 ha).

4.5. CONTEXTE PLUVIOMETRIQUE

Plusieurs dizaines de stations météorologiques sont présentes sur la zone d'étude. Trois stations météorologiques ont été sélectionnées afin de représenter au mieux la pluviométrie sur le secteur d'étude : Quins, Angles, et Entraygues sur Truyère (cf. Illustration 11 et Illustration 12)

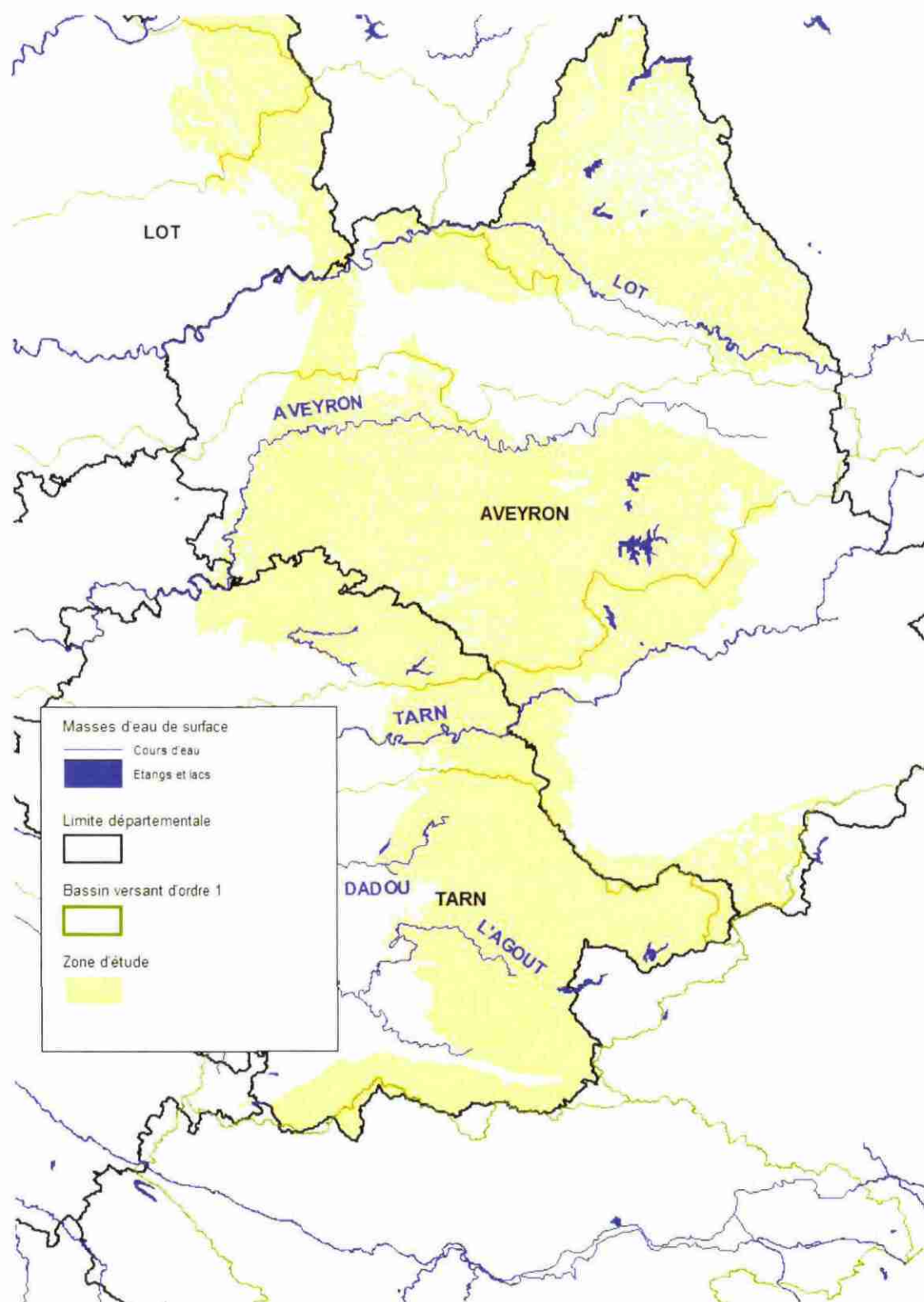
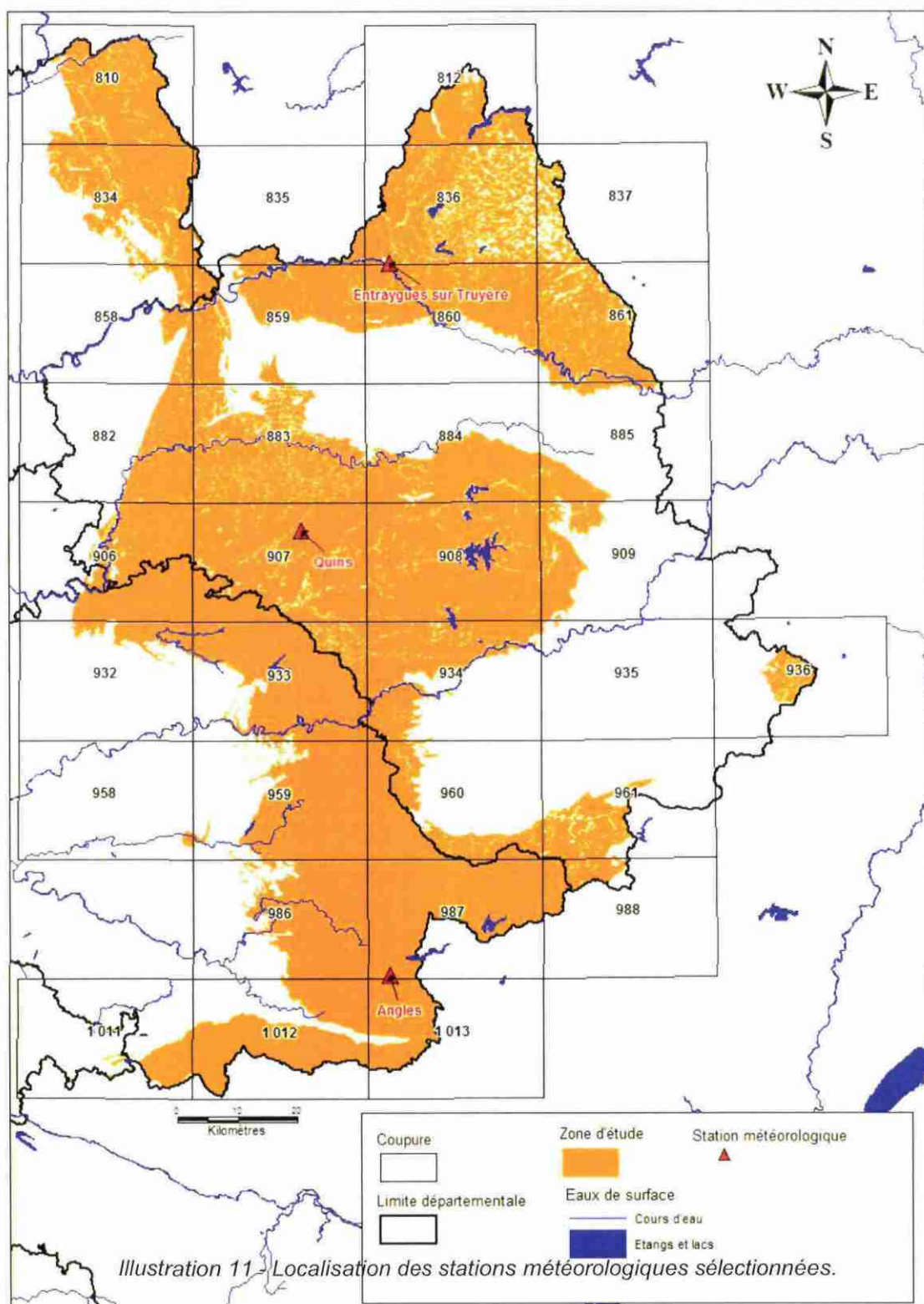


Illustration 10 - Réseau hydrographique principal sur la zone d'étude.



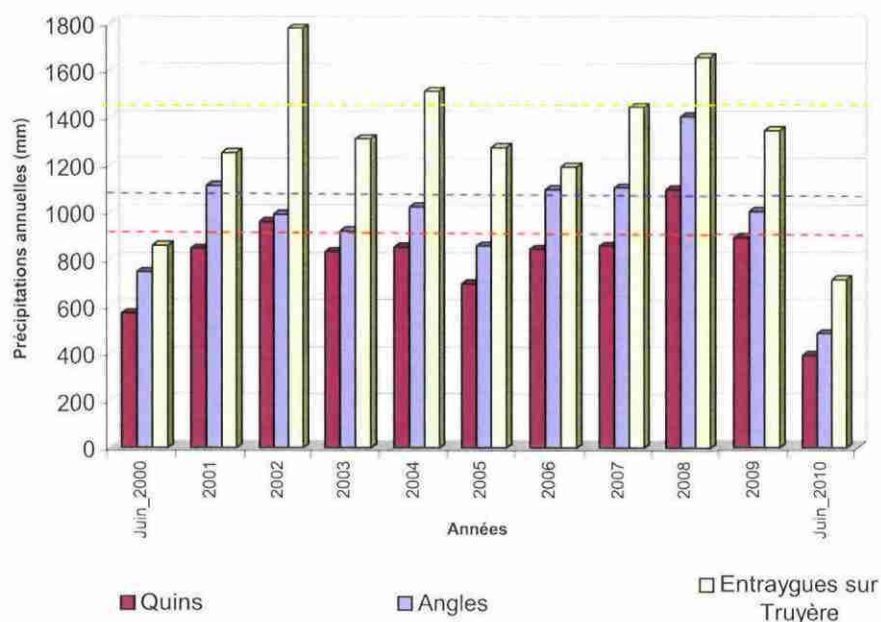


Illustration 12 - Evolution annuelle des précipitations aux stations météorologiques de Quins, Angles et Entraygues sur Truyère.

----- Moyenne des précipitations annuelles entre 2001 et 2009 à la station météorologique de Quins (875 mm)
 ----- Moyenne des précipitations annuelles entre 2001 et 2009 à la station météorologique d'Angles (1057 mm)
 ----- Moyenne des précipitations annuelles entre 2001 et 2009 à la station météorologique d'Entraygues sur Truyère (1418 mm)

Les contrastes pluviométriques sont fortement marqués avec une pluviométrie plus importante au nord de la zone d'étude (bassin amont du Lot) avec 1 418 mm, et au sud (Bassin de l'Agout) avec 1 057 mm, et une pluviométrie modérée au centre (Bassin de l'Aveyron) avec 875 mm.

5. Données collectées

5.1. PRESENTATION DES DONNEES UTILES

Les travaux d'analyses statistiques des résultats de forages sont susceptibles d'apporter des informations essentielles sur les relations existantes entre les propriétés hydrogéologiques et la lithologie. Cela nécessite que les données concernant l'altération du socle (puissance des altérites et de l'horizon fissuré, débits de soufflage en cours de foration, etc.) soient disponibles. Même si en région Midi-Pyrénées les données « utiles » sont le plus souvent absentes, du moins insuffisantes pour effectuer une telle analyse, il a été néanmoins recherché, en préalable à la reconnaissance de terrain, toutes données existantes afin de mieux argumenter la classification qui sera établie en terme de potentialité aquifère.

Les données géologiques et hydrogéologiques suivantes ont été recherchées dans la BSS et dans bibliographie pour les données qui n'auraient pas été déjà archivées en BSS:

- les coupes géologiques des forages, notamment si la présence d'aquifère d'altération est avérée ou non, la position du toit et du mur de chaque compartiment d'altération,
- la profondeur des venues d'eau en forage, et les niveaux piézométriques,
- les débits instantanés (débits au soufflage en cours de foration par exemple), les données permettant d'établir si possible des diagrammes de débits spécifiques rapportés à l'épaisseur des altérites,
- les indicateurs forts tels que l'occurrence de débit sur telle ou telle formation géologique, la piézométrie, les prélèvements, les paramètres hydrodynamiques, etc.

Conformément aux prévisions, peu de données utiles sur les caractéristiques géologiques (information sur le profil d'altération) et hydrogéologiques, ont pu être identifiées sur la zone d'étude.

3 181 ouvrages présents dans la BSS ont été répertoriés sur l'ensemble de la zone d'étude. Les informations présentes dans les dossiers de la BSS ont dépouillées en termes d'informations « utiles » pour les besoins de l'étude et sont présentées en Illustration 13.

Nature des ouvrages	Nombre d'ouvrage	Informations géologiques		Informations hydrogéologiques	
		Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
AFFLEUREMENT	53	6	11,3%		
AFFLEUREMENT-EAU	116	1	0,9%	6	5,2%
CAMPAGNE-GEOCHIMIQUE	3				
CAMPAGNE-GEOPHYSIQUE	12				
CAMPAGNE-SONDAGE	46	9	19,6%	10	21,7%
CARRIERE	100	14	14,0%		
CAVITE-NATURELLE	50				
CHAPEAU-DE-FER	10				
COMMUNE	2				
DEPOT-ARTIFICIEL	21	1	4,8%		
EXCAVATION	45	4	8,9%	2	4,4%
FORAGE	215	156	72,6%	135	62,8%
GALERIE	43	14	32,6%	1	2,3%
GITE	137				
GITE-LIGNE	10				
GRAVIERE	11			1	9,1%
HYDROGEOLOGIE	5	4	80,0%	2	40,0%
INCONNUE	1	1	100,0%		
INDICATION	8				
INDICE	251				
PERTE	7				
PIEZOMETRE	22	22	100,0%	19	86,4%
PRISE-EAU	1				
PROFIL-GEOCHIMIQUE	1				
PROFIL-GEOLOGIQUE	1				
PROFIL-GEOPHYSIQUE	6				
PROFIL-SONDAGE	5				
PUITS	149	8	5,4%	107	71,8%
PUITS-ARTESIEN	1	1	100,0%	1	100,0%
PUITS-COMPLEXE	5				
PUITS-GALERIE	3	1	33,3%		
PUITS-MINE	16	16	100,0%		
SONDAGE	760	528	69,5%	231	30,4%
SONDAGE-ELECTRIQUE	8				
SONDAGE-INCLINE	145	70	48,3%	2	1,4%
Source	906			581	64,1%
STATION-PIEZO	1	1	100,0%	1	100,0%
TRANCHEE	2				
TRAVAUX-SOUTERRAINS	3	1	33,3%		
Total	3181	858	27,0%	1099	34,5%

Illustration 13 - Caractéristiques des différents types d'ouvrages répertoriés dans la BSS.

Au total, environ 30 % des points BSS apportent une information utile. Il s'agit essentiellement de la présence d'une coupe géologique sommaire, d'un niveau d'eau ou du débit d'une source. Les données hydrométriques ont été collectées afin d'étudier les débits spécifiques des stations sélectionnées et de contrôler la contribution des différents aquifères de socle sur le débit des cours d'eau en période d'étiage.

Les données géochimiques de l'inventaire minier ont également été rassemblées et traitées pour informer et attirer l'attention des décideurs sur la présence ou non d'un élément potentiellement indésirable sur la zone d'étude. Elles sont essentiellement destinées à constituer un indicateur pour guider aux mieux les décideurs sur les secteurs à fort potentiel hydrogéologique.

5.2. DONNEES GEOLOGIQUES

858 ouvrages, soit un peu plus d'un quart des ouvrages répertoriés dans la BSS, présentent des informations géologiques. Ce sont essentiellement des forages, des sondages et des piézomètres. L'illustration 14 présente la répartition des ouvrages répertoriés dans la BSS présentant des informations lithologiques « utiles » à la présente étude.

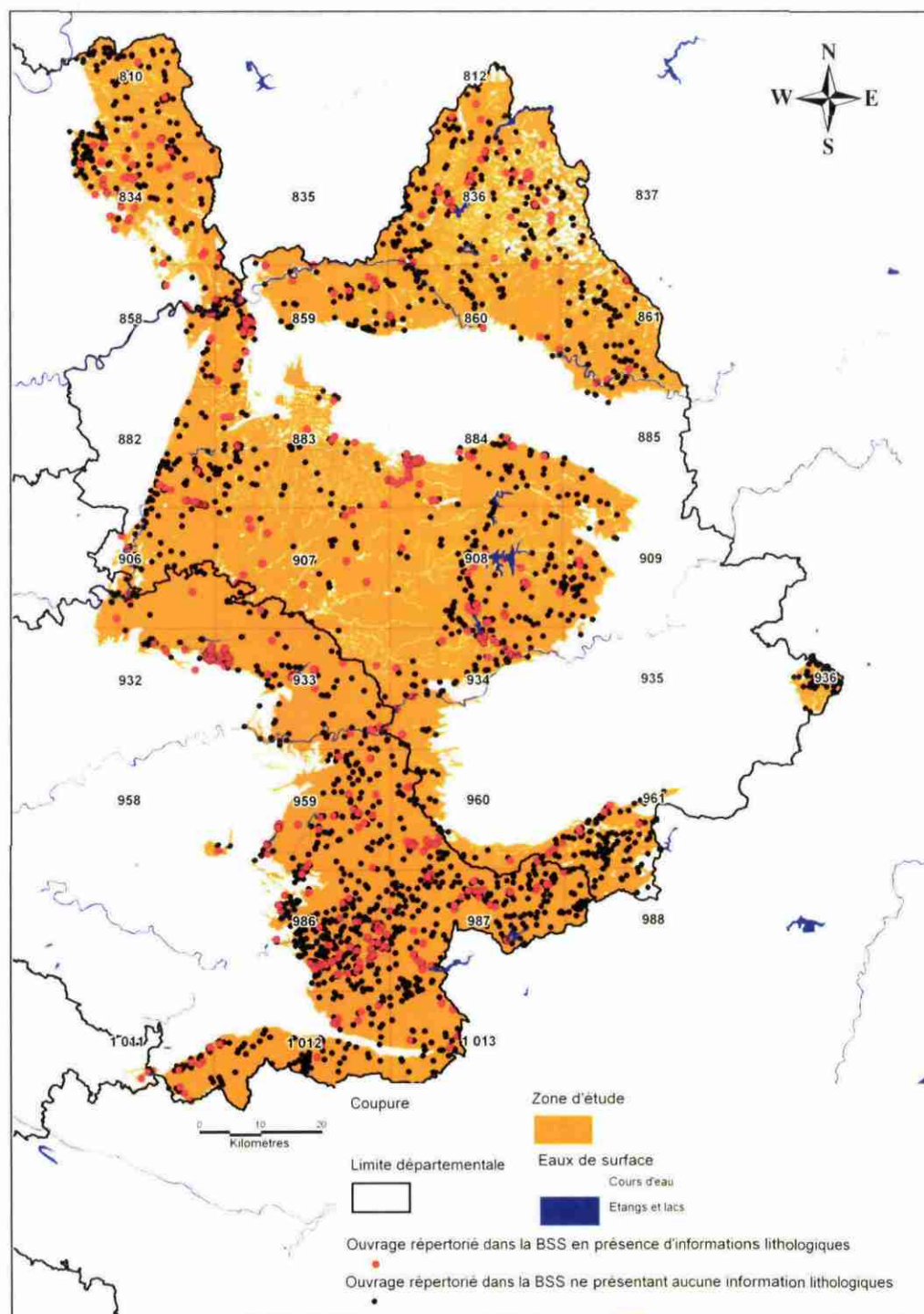


Illustration 14 - Cartographie des ouvrages répertoriés dans la BSS présentant des informations lithologiques.

Toutes les informations lithologiques ont été répertoriées dans une banque de données qui décrit par ouvrage les différents horizons géologiques traversés sur la base des

coupes « foreur », et quand cela est possible, la profondeur de la limite « Arène (altérites) / Horizon fissuré ». Cette base de données, présentée dans l'illustration 15, mentionne également les caractéristiques de l'ouvrage, la géologie d'après la carte à 1/50 000 concernée.

Cette base de données est principalement destinée à apporter des informations complémentaires sur le terrain aux géologues et hydrogéologues, optimisant ainsi le bon déroulement de la campagne.

NUM. NATIONAL	X	Y	Altitude (m)	Profondeur altérée (m)	Nature	Description géol. 1:50 000	Description géol. BSS	Limite altérée (m)	Lithologie_01	Lithologie_02	Lithologie_03	Lithologie_04
08103X0003/S	571509	1994724	446	60,5	SONDAGE	Roches plutoniques : A l'Est de la faille d'Argentat, Leucogranites monzoniques type "Goules", "Lustranquien" et "gène de Lustranquien", avec indications de micascistes et argiles.	Non	Non mesurée				
08103X0004/F	572539	1993474	473	9	PUITS	Terrain cristallin et métamorphique, Roches magmatiques tardi- et post-orogéniques, Granodiorite de Sarvenne	Oui	Non mesurée	0 à 7 m granite altéré	couche micacée altérée vers 7 m de profondeur (mauvaise visibilité du log strat)		
08107X0004/H	573769	1989030	560		Source	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Non	Non mesurée				
08107X0005/S	576808	1980897	525	22,4	SONDAGE	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Oui	12,8	0 - 1,7 : TOURBE, NOIR	1,7 - 12,6 : ARENE - SABLE ARGILEUX (GRANITE DECOMPOSE)	12,6 - 14,5 : PREGRANITE, FIN ROSE, ALTERE; BIOTITE, MUSCOVITE, SABLE, EN FISSURE	14,5 - 17,5 : PREGRANITE, FIN ROSE; BIOTITE, MUSCOVITE, ARGILE, VERT EN FISSURE
08107X0006/S	576736	1980867	521	16	SONDAGE	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Oui	12,5	0 - 5,8 : ARENE - SABLE ARGILEUX	5,8 - 7 : GRANITE TRES ALTERE	7 - 10,75 : SABLE ARGILEUX ET GRANITE TRES ALTERE	10,75 - 12,5 : SABLE ARGILEUX ET QUELQUES MORCEAUX DE GRANITE ALTERE
08107X0007/S	576698	1980647	533	20,3	SONDAGE	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Oui	8	0 - 3 : SABLE	3 - 4,4 : MICASCHISTE TRES ALTERE	4,4 - 7,7 : MICASCHISTE TRES ALTERE (ROCHES MELEES DE QUARTZ)	7,7 - 8 : MICASCHISTE TRES ALTERE
08107X0008/S	576648	1980637	533	20,3	SONDAGE	Enclaves trionimies	Oui	14,4	0 - 6,5 : ARENE - SABLE ARGILEUX, PLUS SABLE ARGILEUX AVEC QUARTZ, MICA, FELDSPATH	6,5 - 7,5 : GRANITE EN DECOMPOSITION TOTALE	7,5 - 12,8 : GRANITE ROSE A GRAIN MOYEN (QUARTZ - FELDSPATH - BIOTITE - MUSCOVITE) A FELDSPATH ET BIOTITE TRES ALT	12,8 - 14,8 : GRANITE A DEUX MICAS TRES ALTERE
08107X0009/S	576558	1980817	518	8	SONDAGE	Colluvions et alluvions des vallées secondaires : calcaires à maltrise argileuse, limons	Oui	8	0 - 1,4 : GRANITE BLEUE A 2 MICAS TRES FRACTURE	1,4 - 1,6 : FILON DE QUARTZ AVEC TOURMALINE	1,6 - 2,3 : QUARTZ ET TOURMALINE	2,3 - 2,6 : GRANITE BLEU FISSURE (MUSCOVITE - BIOTITE)
08107X0010/S	576488	1980817	535	15	SONDAGE	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Oui	0	0 - 5,5 : GRANITE A 2 MICAS BLEUE (QUARTZ - FELDSPATH - BIOTITE - MUSCOVITE) SAIN MAIS FISSURE	5,5 - 6 : GRANITE A GROS GRAINS (PESONNATTE) TRES ALTERE	6 - 7,7 : GRANITE A 2 MICAS ROSE A GRAIN MOYEN (FELDSPATH ALTERE DANS LES FISSURES)	7,7 - 8,2 : GRANITE A FELDSPATH TRES ALTERE
08107X0011/S	576758	1980897	524	15,3	SONDAGE	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Oui	7,9	0 - 0,5 : TOURBE	0,5 - 3,4 : SABLE ARGILEUX (IERE)	3,4 - 4,3 : SABLE ARGILEUX CONTENANT QUELQUES MORCEAUX DE GRANITE EN DECOMPOSITION	4,3 - 7,9 : GRANITE ROSE A DEUX MICAS, TRES ALTERE, NOMBREUX PASSAGES DE SABLE ARGILEUX
08107X0012/S	576756	1980647	505	19	SONDAGE	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Oui	Non mesurée	0 - 1,4 : TERRE VEGETALE ET REMBLAIS	1,4 - 1,7 : SABLE ARGILEUX	1,7 - 8,2 : SABLE FIN TRES BLANC, RICHE EN MICA BLANC ET FELDSPATH	8,2 - 9,6 : SABLE BLANC (QUARTZ, MUSCOVITE, FELDSPATH) ELEMENTS ANGULEUX
08107X0013/B	576538	1980767	520	20,3	SONDAGE	Colluvions et alluvions des vallées secondaires : calcaires à maltrise argileuse, limons	Oui	3,2	0 - 0,7 : TERRE VEGETALE	0,7 - 3,2 : ALLUVIONS ET BLOCS DE GRANITE	3,2 - 4,1 : GRANITE ROSE A 2 MICAS (FELDSPATH ALTERE) UN PEU SABLE	4,1 - 5,9 : GRANITE ROSE A 2 MICAS A GRAINS MOYENS (ROCHE DURE A FELDSPATH ALTERE)
08107X0014/L	576109	1983678	600		DEPOT ARTIFICIEL	Formations éruptives : Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches : Granite équiaquant à biotite (type Glnat)	Non	Non mesurée				
08107X0015/S	577030	1987730	630	150	CAMPAGNE SONDAGE	Formations métamorphiques : A l'Est de la faille d'Argentat (type Millevaches) : Gneiss et micascistes en alternance, avec gneiss micacés	Non	Non mesurée				

Illustration 15 - Extrait de banque de données sur les informations lithologiques issues de la BSS.

L'illustration 16 indique la répartition des ouvrages avec données lithologiques en fonction de leur profondeur.

La moyenne de la profondeur de ces ouvrages est de 71,6 m. Ils sont rassemblés par classe équivalente de 5 mètres sauf, pour les trois dernières classes qui rassemblent : les ouvrages de 30 à 50 m, les ouvrages supérieurs à 50 m (entre 50 et 1 814 m) et les ouvrages avec des profondeurs inconnues.

Il est dénombré 132 ouvrages, soit environ 15% des ouvrages répertoriés dans la BSS, qui recoupent l'interface « altérée » et « fissurée ». Ce nombre relativement faible est lié au manque d'informations lithologiques dans les « coupes foreur ».

L'illustration 17 propose la localisation des ouvrages connus recoupant la limite Arène / Horizon fissuré sur la zone d'étude.

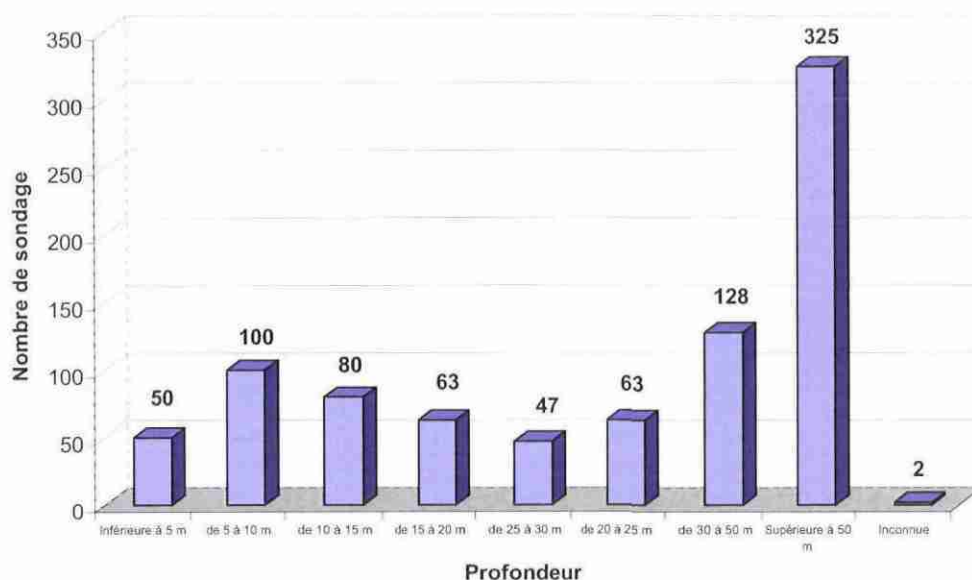


Illustration 16 - Répartition des ouvrages BSS avec données lithologiques en fonction de leur profondeur.

Au vu de la répartition hétérogène de ces ouvrages et principalement leur très faible densité (environ 1 ouvrage renseigné pour 50 km²), Il n'est pas envisageable de réaliser un modèle géométrique de la base des altérites sur l'ensemble de la zone d'étude. Toutefois, ces informations pourront être utiles, dans le cadre d'études ultérieures, sur les secteurs à potentiel hydrogéologique favorable qui auront été retenus pour l'implantation d'ouvrages de captage.

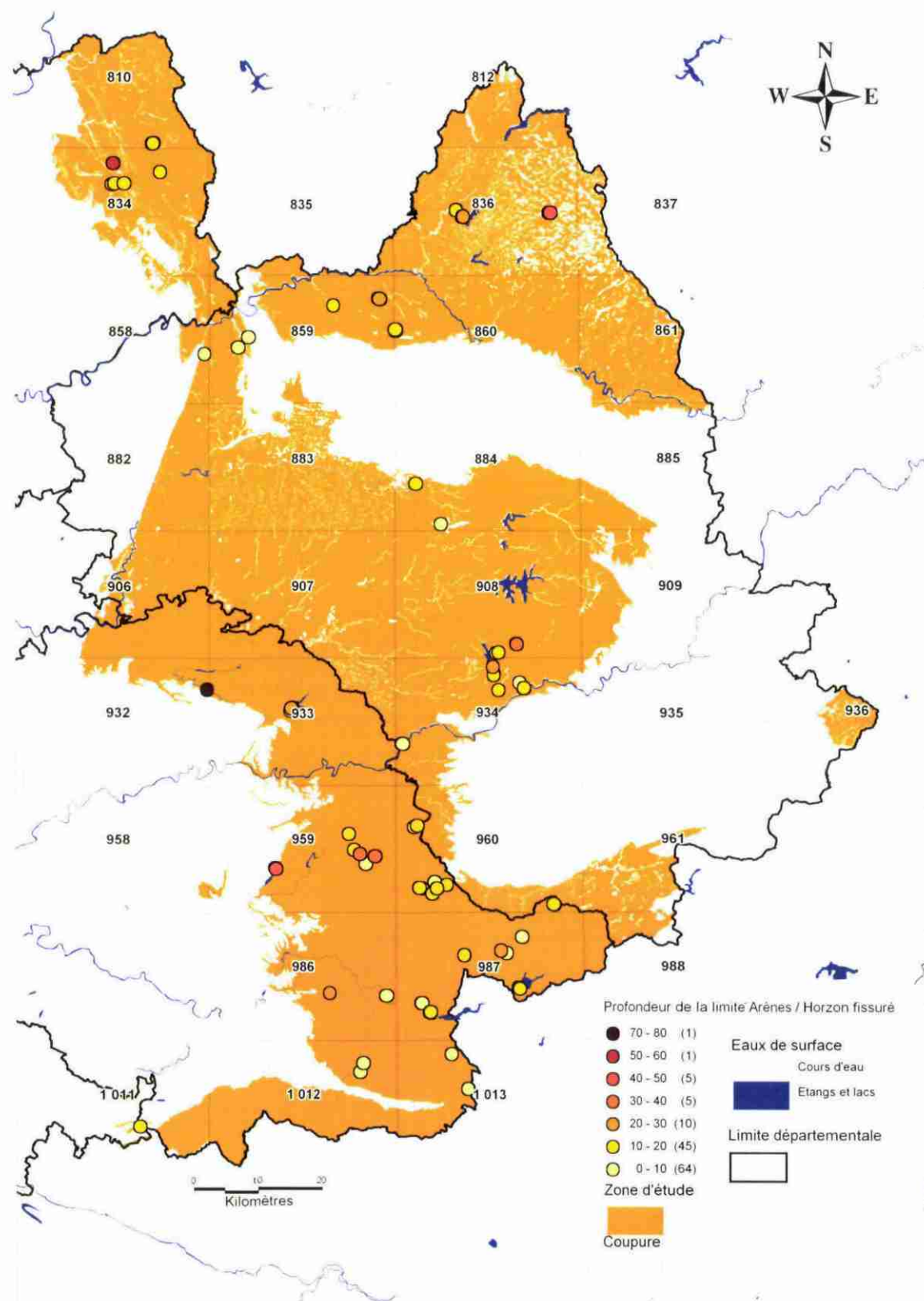


Illustration 17 - Localisation des ouvrages connus recoupant la limite Arènes/Horizon fissuré à partir des informations issues de la BSS.

5.3. DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

5.3.1. Présentation des données hydrogéologiques utiles

L'objectif de la collecte des données hydrogéologiques des formations de socle est d'une part, de construire une base de données constituant un référentiel pour les utilisateurs des données sur l'eau (Conseils généraux, bureau d'étude...), et d'autre part, de compléter les travaux de reconnaissance de terrain effectués dans le cadre de la présente étude, et si possible et en fonction des éléments disponibles, de contrôler la classification établie en termes de potentialité aquifère des formations de socle.

La compilation et la structuration des données hydrogéologiques des aquifères de socle ont été réalisées à partir du dépouillement des sources d'informations suivantes :

- la Banque de Donnée du Sous-Sol (BSS) regroupant les renseignements relatifs aux ouvrages souterrains,
- la banque de données HYDRO, regroupant les données relatives à l'hydrologie,
- les données de prélèvement d'eau souterraine de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne,
- la banque de données SISE-eau regroupant les informations sur les captages d'eau souterraine destinés à l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

L'inventaire des données brutes a porté sur les paramètres suivants :

- la localisation des sources, et leur débit en période d'étiage (L/s), à défaut de chronique de débit,
- les niveaux d'eau (m) dans les forages,
- les données de débits (m^3/h) des forages qui comprennent : le débit instantané de l'ouvrage (débit par air-lift ou à l'avancement en cours de foration), le débit artésien le cas échéant, et la présence de forage « sec »,
- les caractéristiques hydrodynamiques à partir des pompages d'essai, à défaut les résultats des essais de perméabilité (essai Lugeon essentiellement),
- les prélèvements (m^3/j) d'eau souterraine.

L'illustration 18 présente la banque de données sur les informations hydrogéologiques « utiles » réalisée à partir des ouvrages répertoriés dans la BSS.

L'exploitation de cette banque de données montre que 1 099 ouvrages, soit 34,5 % des ouvrages répertoriés dans la BSS, présentent des données hydrogéologiques « utiles » à l'étude. Elles concernent essentiellement des sources, et des ouvrages peu profonds (inférieurs à 20 m).

L'illustration 19 indique la répartition des ouvrages BSS présentant des données hydrogéologiques « utiles » sur la zone d'étude et l'illustration 20 et 21 exposent la répartition de ces ouvrages selon leur profondeur.

NUM_NATIONAL	X	Y	Altitude (m)	Profondeur atteinte (m)	Nature	Source: Date de la mesure	Source: Débit étiage (L/s)	Source: Débit hors étiage (L/s)	Profondeur du niveau hydrostatique (m)	Q air-lift (m3/h)	Q artésien (m3/h)	Profondeur du Q mesuré	Q maximum d'essai (m3/h)	Présence d'un forage sec	Essais et pompages réalisés	Prélèvement (m3/l)	Type de prélèvement
10132X0019HY	623507	1832843	760		AFFLEUREMENT EAU											5	AEP
08845X0057/S	617315	1927859	510.13	12	CAMPAGNE-SONDAGE				0,6								
09086X0021/S	628280	1902406	730	30	CAMPAGNE-SONDAGE				0,9								
08855X0046/S	647763	1926098	768	150	CAMPAGNE-SONDAGE				18,2								
09343X0042/S	634614	1895333	280	18,25	CAMPAGNE-SONDAGE										Essais Lugeon		
08584X0051/C	562788	1953049	175		CARRIÈRE											286,9	Industriel
10117X0006/TX	574949.6	1826694	350	2	EXCAVATION				1,2								
08365X0027/TX1	619633	1962356	237.08	2,5	EXCAVATION				2,2								
09863X0032/F	600761	1856166	388	31,5	FORAGE				0,3							100	AEP
09615X0034/F	649765	1869473	450	231	FORAGE				0,7								
08368X0003/F	638572	1969924	910	62,25	FORAGE				0,8								
09867X0116/F	604306	1847334	650	42	FORAGE				1,0				3				
09333X0016/F	606450.3	1894125	475	110	FORAGE				1,5								
08874X0035/F	641007	1857404	895	10	FORAGE				1,5								
09874X0038/F	639004	1856963	865	14	FORAGE				1,5					Forage sec			
09868X0092/F	610755.7	1848626	482	46	FORAGE				1,8				31		Pompage d'essai		
09872X0043/F	625002.4	1853920	941.82	80	FORAGE				1,9								
09872X0021/F	624996	1853294	1030	27	FORAGE				2,7								Industriel
08343X0023/F	574858.2	1979759	566	31	FORAGE				3,0	0,1		en surface				22,4	Industriel
08347X0046/F	572104	1969432	540	50	FORAGE				3,0	0,4							
09605X0013/F	619927	1862932	740	24	FORAGE				3,0				10				
08591X0153/F	591537.7	1951049	201.02	8	FORAGE				3,3								
09608X0027/F	635090	1861235	975	51	FORAGE				3,5				5				
09324X0104/F	584733	1895046	225.51	10	FORAGE				3,5								
08591X0154/F	591515.8	1951002	200.46	8,72	FORAGE				3,6								
08598X0057/F	590621.8	1949895	213.89	9,1	FORAGE				3,7								
08591X0148/F	587540.8	1952676	185.51	11,1	FORAGE				3,9								
08591X0162/F	590630.4	1951051	203.64	12	FORAGE				3,9								
09324X0124/F	585217.4	1895130	228	155	FORAGE				4,0				3		Pompage d'essai		
09605X0012/F	620628	1863738	750	31	FORAGE				4,0				2		Pompage d'essai		
08107X0026/F	572217.2	1981504	421	50	FORAGE					2		38					
08341X0017/F	563194.4	1976700	510	89	FORAGE												
08342X0024/F	566966.5	1973229	450	36	FORAGE					0,3		3					
08342X0025/F	566966.6	1973174	460	65	FORAGE					0,2		15					
08342X0028/F	570541.5	1977722	365	71	FORAGE					4		56					
08342X0029/F	565368.4	1979854	532	35	FORAGE					0,3		17					
08342X0030/F	567510.6	1972019	445	71	FORAGE												
08342X0031/F	567579.6	1971947	445	20	FORAGE										Forage sec		
08342X0032/F	567537.6	1971979	445	47	FORAGE										Forage sec		
08342X0033/F	565630.4	1971655	372	26	FORAGE					6		23			Forage sec		
08343X0024/F	571767.9	1876500	370	61	FORAGE								2				
08340X0044/F	568030	1968115	455	200	FORAGE												
08356X0201/F	593702.9	1959941	388	68	FORAGE										Forage sec		
08591X0141/F	588705.8	1954280	225	16	FORAGE										Forage sec		
08828X0044/F	582605	1926036	551	101	FORAGE								7,22				
08833X0014/F	600412	1932841	594	94	FORAGE					1,4		65					
08845X0130/F	619337.7	1923802	602	103	FORAGE								0,9				
08845X0131/F	615661.3	1923798	680	91	FORAGE								0,17				
08846X0059/F	621640.3	1921014	645	32	FORAGE					1							
08846X0061/F	627209	1928599	500	55	FORAGE					0,3			8				
09072X0003/F	593136	1910599	457	62	FORAGE								0,2				
09072X0004/F	593944	1915659	559	71	FORAGE								0,5				
09073X0009/F	606827	1918502	772	70	FORAGE					0,4		23					
09073X0010/F	606828	1918503	772	100	FORAGE					0,3		23					
09074X0003/F	608859	1913265	588		FORAGE											20	AEP

Illustration 18 - Extrait de la banque de données sur les informations hydrogéologiques disponibles sur le secteur d'études.

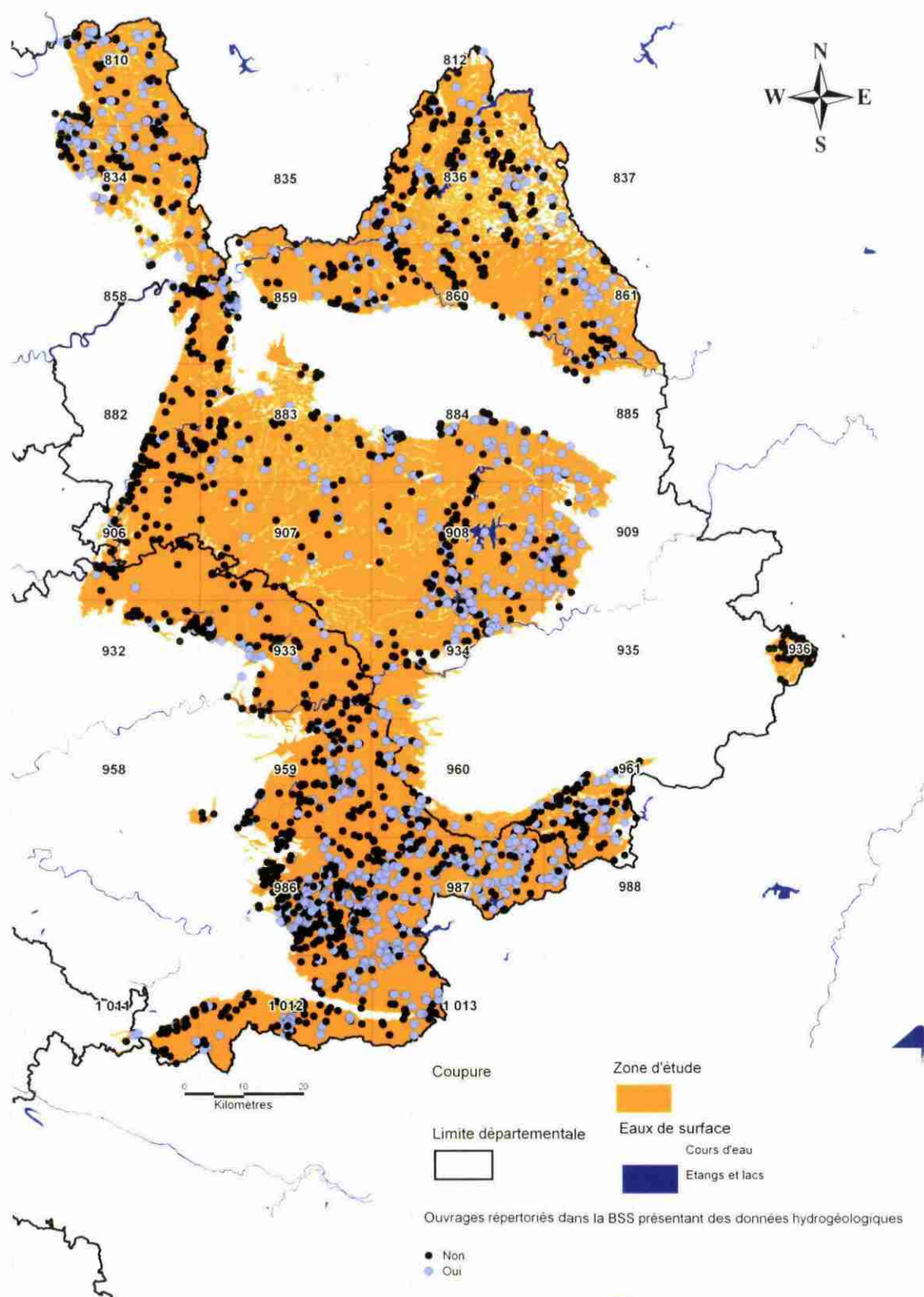


Illustration 19 - Localisation des ouvrages issus de la BSS et présentant des informations hydrogéologiques sur le secteur d'étude.

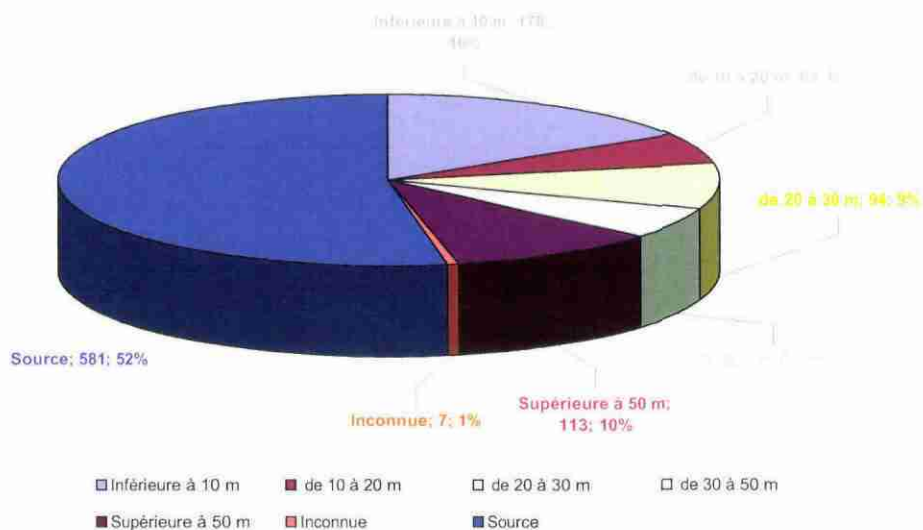


Illustration 20 - Répartition des ouvrages repertoriés en BSS selon leur profondeur et présentant des données hydrogéologiques.

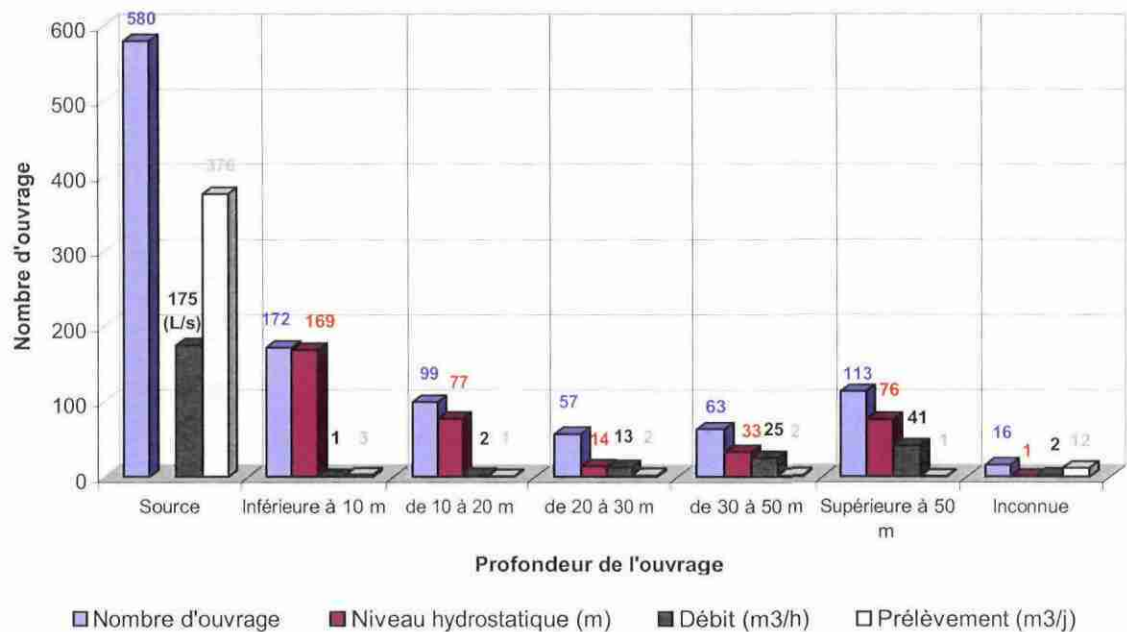


Illustration 21 - Répartition des données hydrogéologiques utiles en fonction de la profondeur des ouvrages

Il est dénombré 25 % des ouvrages dotés d'une profondeur supérieure à 20 m, et donc susceptible d'apporter des informations hydrogéologique sur le socle fissuré. Très peu de données sont répertoriées dans la zone centrale du domaine d'étude. Elles se

concentrent essentiellement dans le sud, dans le nord-est, et dans une moindre mesure dans le département du Lot.

5.3.2. Les sources

Le dépouillement des informations issues de la BSS, et de la banque de données SISE-Eau a permis de comptabiliser 581 sources avec des données de débits ou de prélèvements. Seulement 175 sources présentent des données de débit en période d'étiage et 377 possèdent des données de prélèvements moyens journaliers. L'illustration 22 présente la répartition des sources sur la zone d'étude en fonction de leur débit en période d'étiage, principale information susceptible de constituer un bon indicateur du potentiel hydrogéologique des formations de socle. L'illustration 23 présente la répartition des sources sur la zone d'étude ainsi que leur débit en période d'étiage.

La majorité des sources sont pourvues d'un très faible débit d'étiage, signe d'un faible potentiel hydrogéologique local ou d'un niveau de drainage essentiellement dans les formations altéritiques. 70 % des débits d'étiage sont inférieurs à 1L/s. Les sources présentant des débits supérieurs à 1L/s se situent essentiellement au niveau des Monts de Lacane (sud-est de la zone d'étude), du granite de la Margeride (nord-est de la zone d'étude), et du secteur du Vibal-Lévézou (est de la zone d'étude). Très peu de sources sont répertoriées au niveau de la zone centrale de la zone d'étude, c'est-à-dire entre le secteur de la granodiorite de Villefranche de Rouergue (ouest de la zone d'étude) et secteur du Vibal-Levezou. L'utilisation des sources sur la zone d'étude est principalement destinée à l'alimentation en eau potable. Ainsi, sur les 906 sources répertoriées dans la BSS, 600 sont encore exploitées.

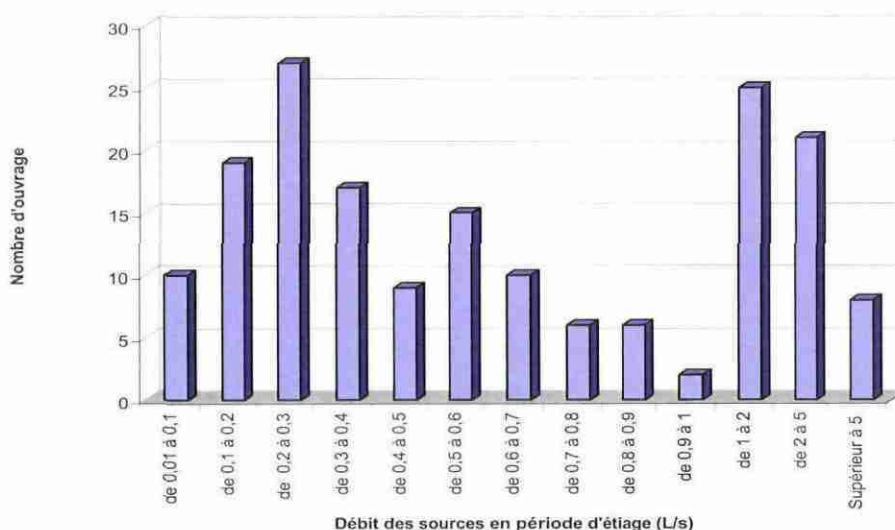


Illustration 22 - Répartition des débits des sources en périodes d'étiage.

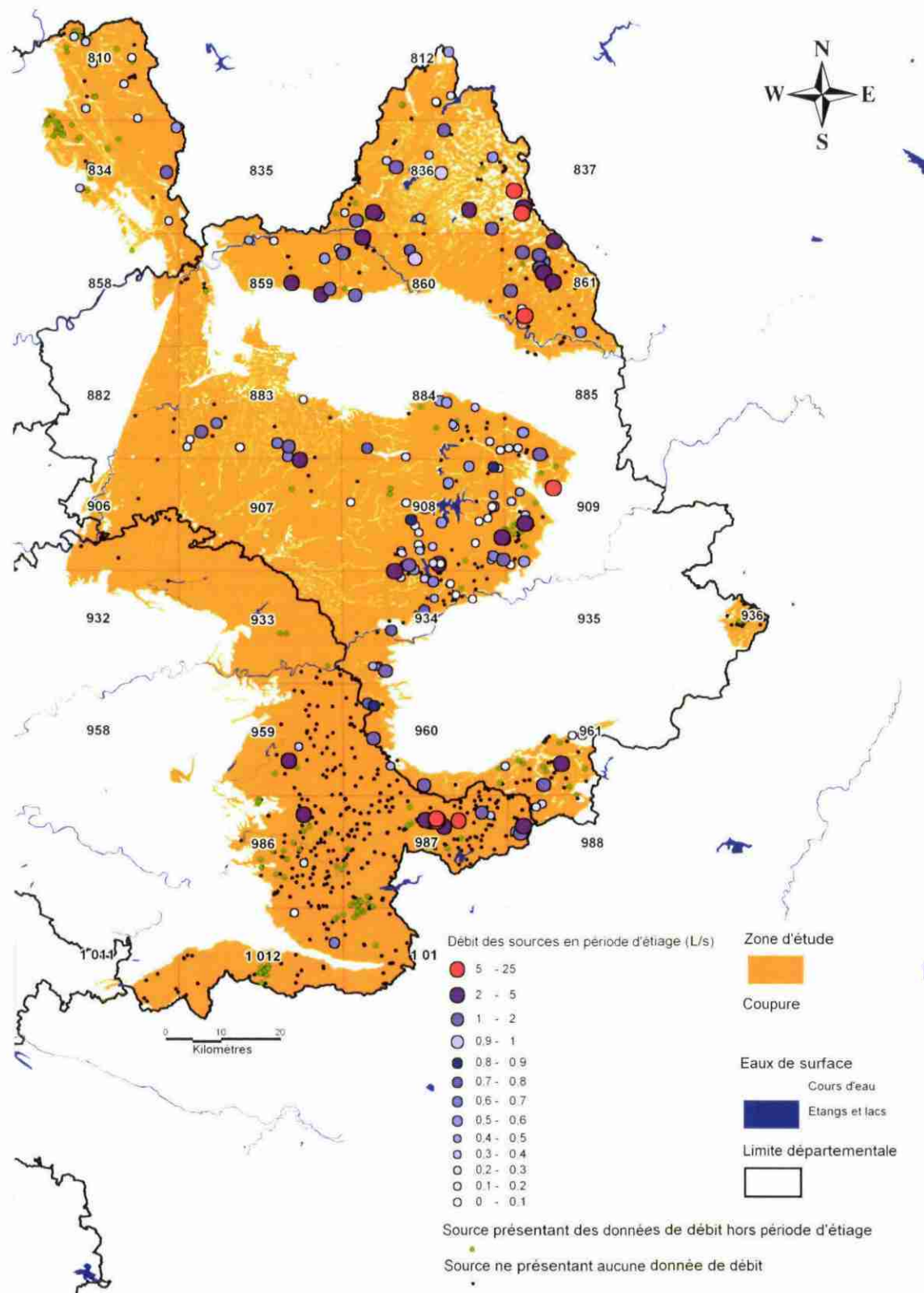


Illustration 23 - Localisation des sources sur la zone d'étude.

5.3.3. Niveau hydrostatique

Sur l'ensemble des ouvrages répertoriés dans la BSS sur la zone d'étude, 370 présentent un niveau d'eau.

L'illustration 24 indique la localisation de ces ouvrages. Leur répartition est hétérogène. Ainsi, des zones très localisées sur les alluvions des cours d'eau traversant les formations de socle, le secteur du granite du Sidobre, le secteur des monts de Lacunes, ainsi que les formations de socle du département du Lot (granite de Glenat, micaschiste de type Millevache, etc.), possèdent des concentrations plus importantes d'ouvrages présentant des niveaux d'eau. Au contraire, le secteur de la granodiorite de Villefranche de Rouergue, le secteur de la Montagne Noire, et les formations de socle situées dans la zone centrale de la zone d'étude, ont une concentration beaucoup plus faible d'ouvrage présentant des niveaux d'eau.

Les niveaux d'eau s'établissent en grande majorité entre 0 et 10 m (85 %). Seuls 53 ouvrages ont un niveau au-delà de 10 m de profondeur, généralement indicateur de la présence de formations sensiblement plus perméables (Illustration 25).

Aucune chronique piézométrique n'est répertoriée sur la zone d'étude. Les informations piézométriques sont ainsi peu nombreuses sur le secteur d'étude et mal réparties. Elles ne permettent pas de dresser une carte piézométrique cohérente et représentative, et d'appréhender finement le sens général des écoulements des nappes.

5.3.4. Débit des forages

Conformément aux prévisions, peu de données sur les débits de forage ont pu être collectées sur la zone d'étude. Il est répertorié seulement 84 ouvrages dotés d'une information de débit, et 7 ouvrages considérés comme secs. L'illustration 26 présente la localisation de ces ouvrages.

Trois types de données utiles ont été différenciés : Le débit à air-lift en cours de foration, le débit artésien, le débit maximum d'essai. En Annexe 3, toutes les données recueillies sont présentées par numéro BSS et par formation géologique captée.

Le débit par air-lift (débit au soufflage) (46 ouvrages) : Plus de 78 % des ouvrages présentent une donnée de débit par air-lift inférieure à 2 m³/h, et 6,5 % possèdent une donnée de débit supérieur à 4 m³/h. Ainsi, un forage dans le granite à biotite de la Margeride (nord-est de la zone d'étude), profond de 48 m et présentant une limite « Arène / Horizon fissuré à 15m présente un débit par air-lift de 10.8 m³/h. Un forage présente également, dans les micaschistes de l'unité de Leyme, au Nord-ouest de la zone d'étude, un fort débit par air-lift de 6 m³/h à une profondeur de 23 m. Dans le même secteur, au niveau des leucogranites, des gneiss et des schistes, plusieurs forages montrent des débits allant jusqu'à 2 m³/h. Sur le secteur du Vibal-Levezou (centre-est de la zone d'étude), 11 forages possèdent débits entre 0,1 et 2 m³/h. Au niveau des formations schisteuses de la nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, 7 forages présentent des débits compris entre 0,1 et 1 m³/h.

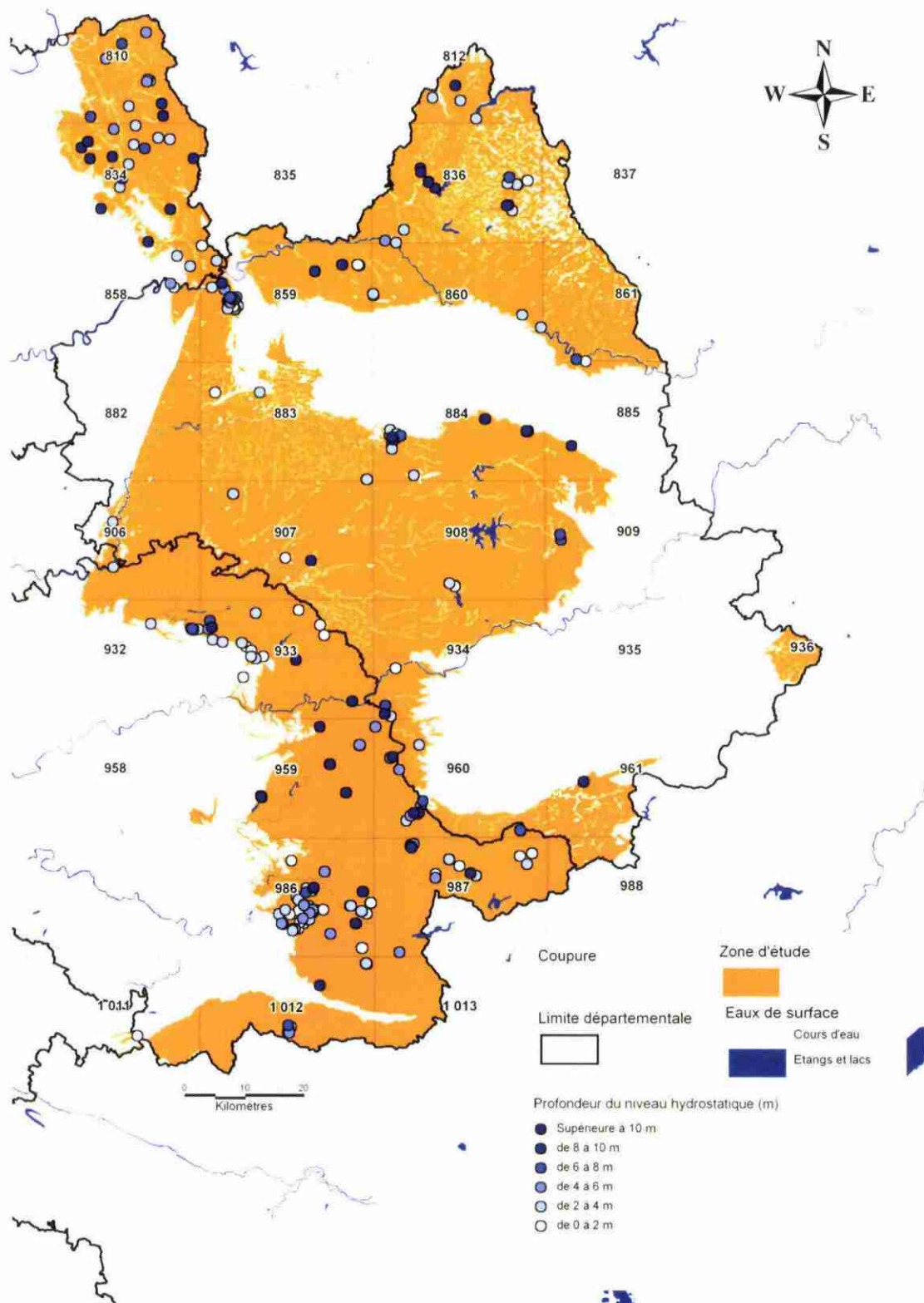


Illustration 24 - Localisation des ouvrages renseignés par un niveau d'eau sur la zone d'étude.

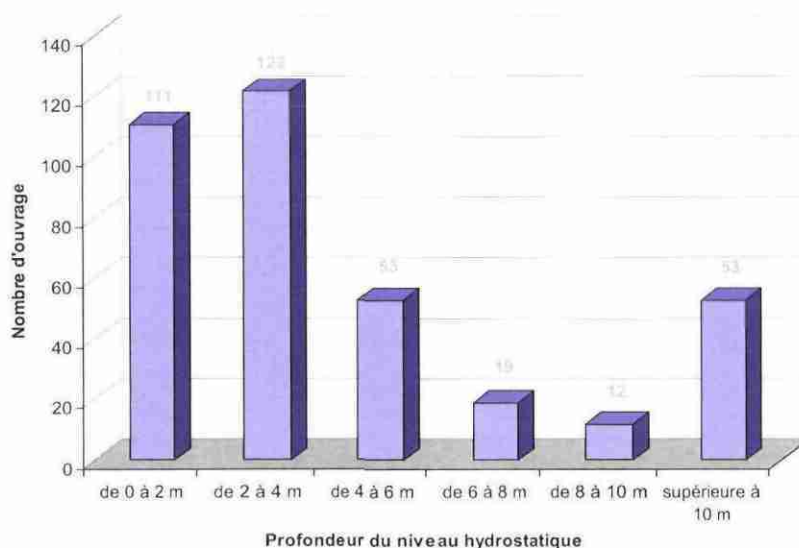


Illustration 25 - Répartition des ouvrages selon la profondeur du niveau hydrostatique sur la zone d'étude.

- Le débit artésien du forage (5 ouvrages) : 5 ouvrages présentent une donnée de débit artésien dont 3 ayant un débit supérieur à $25 \text{ m}^3/\text{h}$. Ces forages à fort débit sont situés au niveau des séries péliro-gréso-carbonatées des Monts de Lacaune (sud de la zone d'étude) et sur les schistes verts au sud-ouest de la zone d'étude.
- Le débit maximum d'essai (37 ouvrages). Plus de 32 % des forages présentent une donnée de débit maximum d'essai inférieure à $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Environ 43 % des ouvrages possèdent un débit supérieur à $4 \text{ m}^3/\text{h}$ dont 5 avec des débits supérieurs à $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Ces forages à forts débits se trouvent sur les nappes de Saint-Salvi-de-Carcavès et de Saint-Sernin-sur-Rance qui possèdent 7 forages avec des données de débits allant de 1 à $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Un forage avec un débit de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ se situe au niveau des brèches volcaniques kérotophyrique, à l'intérieur de la « Formation schisto-carbonatée verte » des Monts de Lacaune, au sud-est de la zone d'étude. Un autre ouvrage présente un débit de $31 \text{ m}^3/\text{h}$ au niveau des schistes gréseux situés à l'est du massif du Sidobre. Sur le secteur des leucogranites monzonitiques du département du Lot, 2 forages ont des débits de $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Sur les schistes de Lacapelle-del-Fraisses, au nord des granites de la Margeride, un ouvrage présente un débit de $18 \text{ m}^3/\text{h}$.

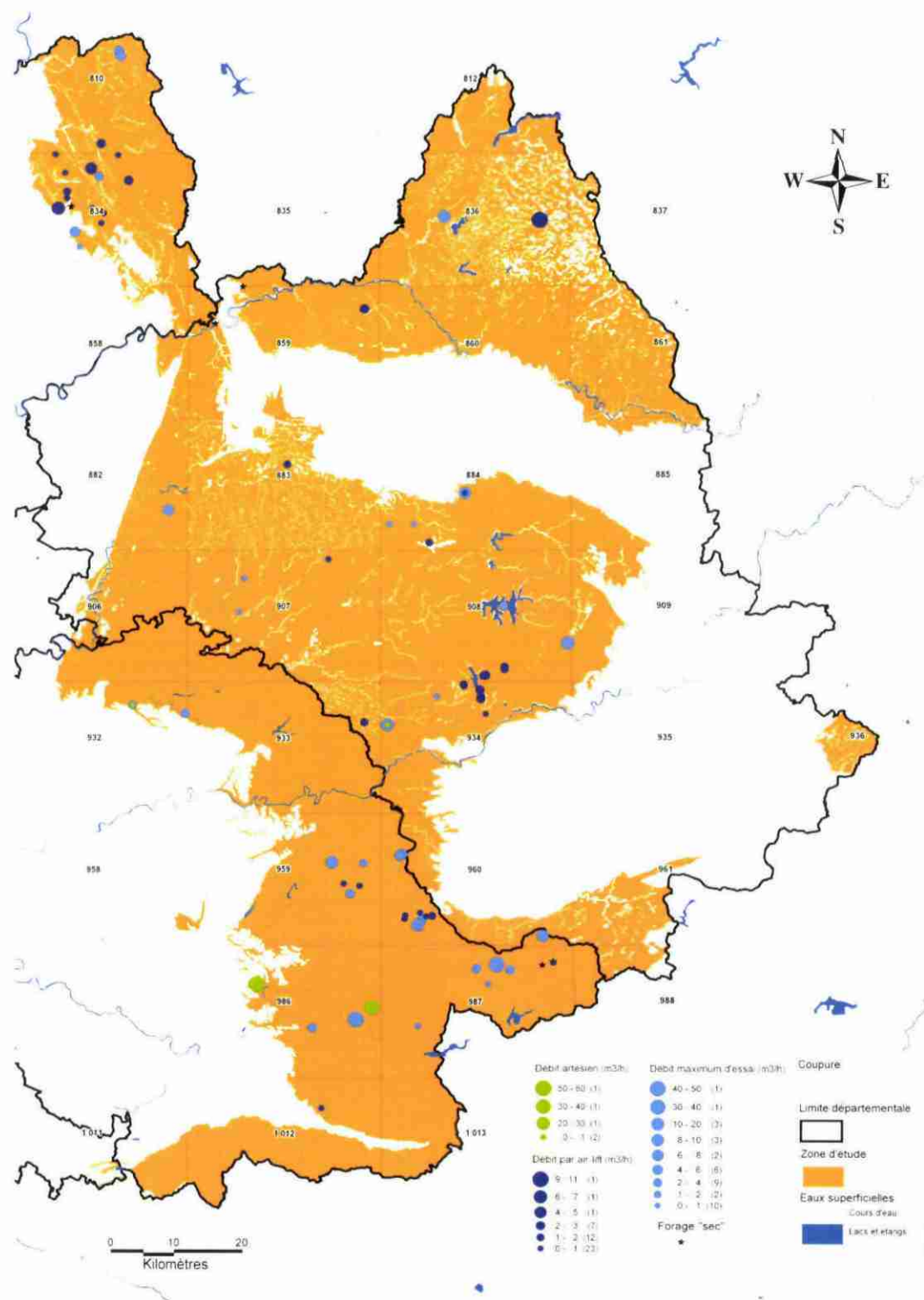


Illustration 26 - Localisation des forages présentant des données de débit sur la zone d'étude.

5.3.5. Essais de pompage et de perméabilité

Sur la totalité des 3181 ouvrages, seulement 77 présentent des rapports permettant d'évaluer les caractéristiques hydrodynamiques du milieu dans lequel a été implanté l'ouvrage (localisation en Illustration 27). Il s'agit des essais suivants :

- essais Lugeon qui, par leur interprétation, permettent de connaître les valeurs de la perméabilité (k en m/s) du milieu ;
- essais de pompage qui, par leur interprétation, permettent d'évaluer la transmissivité (T en m²/s) et le coefficient d'emménagement (S) du milieu.

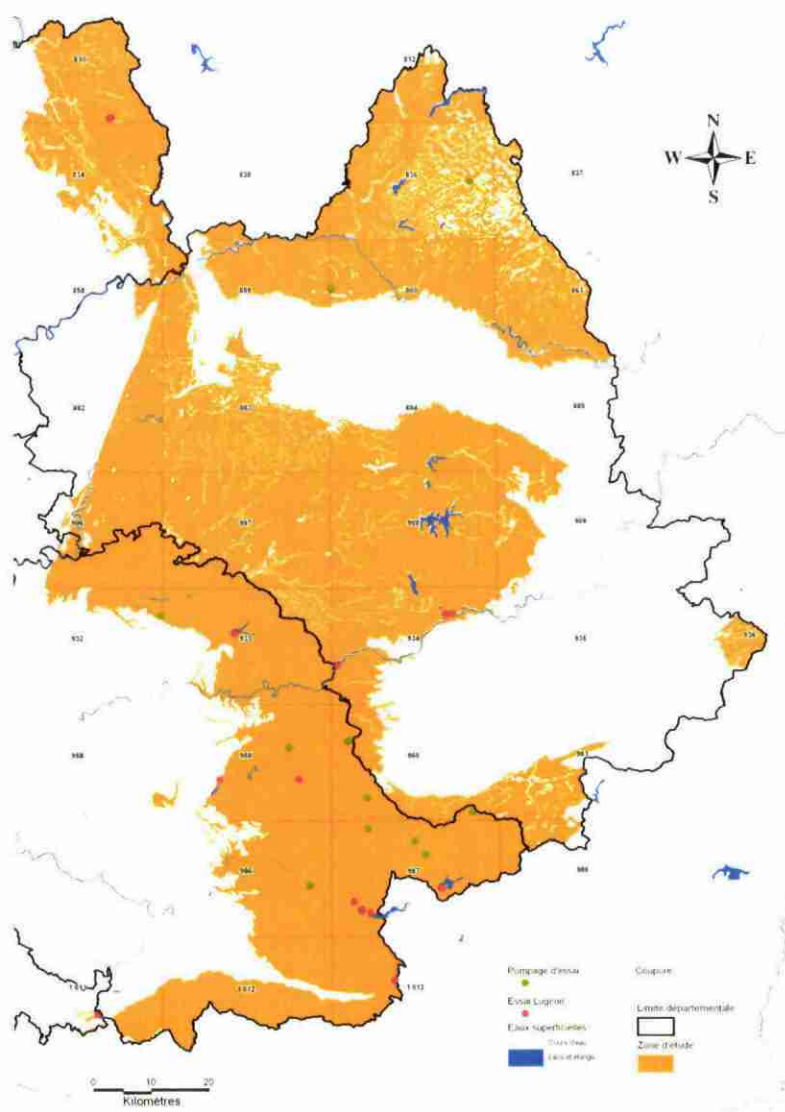


Illustration 27 - Localisation des ouvrages présentant des essais de pompage et/ou de perméabilité.

5.4. DONNEES HYDROMETRIQUES

L'étude des débits spécifiques des stations hydrométriques sélectionnées sur la zone d'étude a pour but d'analyser et de comparer la contribution des différents aquifères de socle sur le débit des cours d'eau en période d'étiage.

Les stations hydrométriques sélectionnées sont celles où les formations géologiques constituant le bassin versant identifié présentent une relative homogénéité. L'illustration 28 présente un exemple de chronique de débit à la station de Jaledieu. Il est noté une certaine constance du débit d'étiage sur toute la période de mesure.

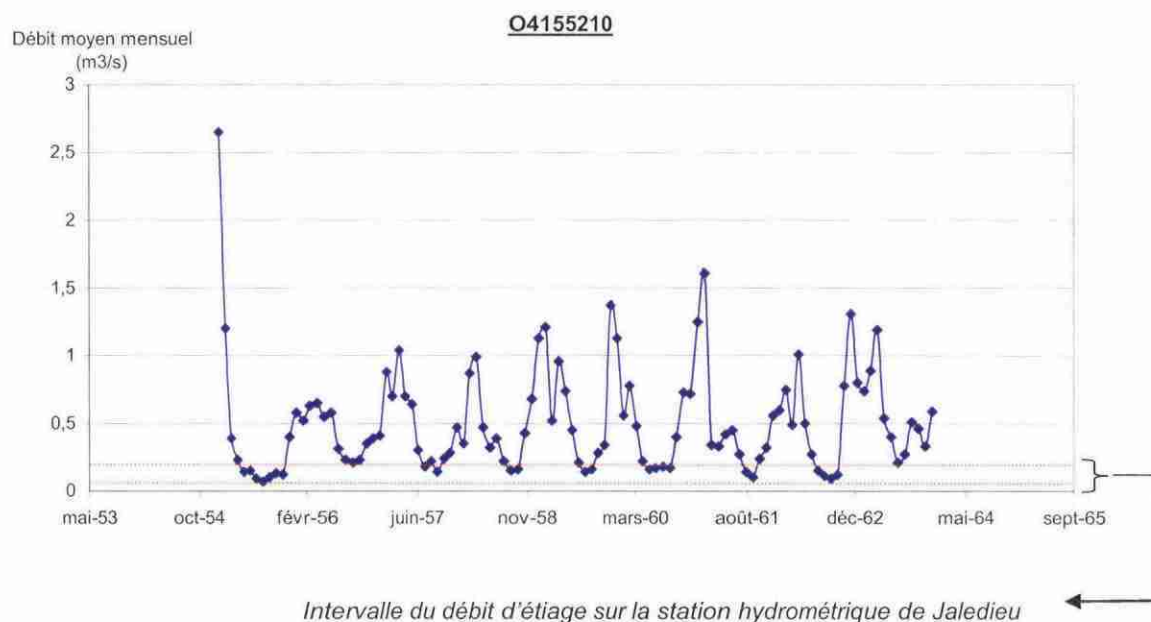


Illustration 28 - Chronique de débit de la station hydrométrique de Jaledieu (Tarn).

Le débit spécifique d'étiage (m³/s/km²) a été calculé pour chaque station hydrométrique à partir des données issues de la banque HYDRO et de la bibliographie.

L'illustration 29 présente les caractéristiques des stations hydrométriques sélectionnées selon l'homogénéité des formations présentes sur le bassin versant. La localisation des bassins versants de niveau 3 (selon la banque de données « Carthage »), et des stations hydrométriques sélectionnées sur la zone d'étude est présentée en illustration 30.

CODE_HY DRO	NOM_COM	NOM_HYD- LIN	X_LA2E_M	Y_LA2E_M	INTITULE	Superficie du Bassin-Versant
O5464310	Saint-Just-sur-Viaur	Le Giffou	607872	1900836	Le Giffou à St-Just-sur-Viaur [La Fabrèguerie]	175 km²
O4135410	Lacaune	Le Rieufrech	629646	1850866	Le Rieufrech à Lacaune [Les Crozes]	6 km²
O4155210	Castelnau-de-Brassac	Les Agrès	618179	1847420	Les Agrès à Castelnau-de-Brassac [Jaladieu]	17.4 km²
O4335010	Mazamet	L'Arnette	603371	1830649	L'Arnette à Mazamet [Moulin de l'Oule]	57 km²
O4335020	Mazamet	L'Arnette	602996	1830415	L'Arnette à Mazamet [Hautpoul]	59 km²
O4375210	Pont-de-Larn	Le Bouyssou	609547	1836359	Le Bouyssou à Pont-de-l'Arn	15 km²
O4316410	Albine	Le Galinas	617127	1827150	Le Galinas à Albine [Ravaille]	4.2 km²
O4316710	Albine	L'Embarthe	615493	1827090	L'Embarthe à Albine [Sourque]	3.1 km²
O4316910	Albine	La Resse	614742	1827319	La Resse à Albine [Moulina]	3.7 km²
O4364320	Anglès	L'Arn	625032	1836850	L'Arn à Anglès [Bourcavala]	58 km²
O5284310	Saint-André-de-Najac	La Serène	576566	1912000	La Serène à St-André-de-Najac [Canabral]	103 km²
O4222540	Burlats	/	598598	1848285	/	3,7 km²
O7625210	Sainte-Geneviève-sur-Argence	L'Ondes	629434	1973151	L'Ondes à St-Symphorien-de-Thénières	37 km²
O7646110	Montézic	La Plane [ou Le Gouzou]	624376	1967253	La Plane [ou Le Gouzou] à Montézic	14.5 km²
O7685010	Campouriez	La Selves	619471	1964225	La Selves à Campouriez [Louradiol]	189 km²
P1934010	Lamativie	L'Escaumels	576059	1994208	L'Escaumels à Lamativie	85 km²
O3485410	Viala-du-Tarn	Les Canabières	636994	1901399	Les Canabières à Viala-du-Tarn [Savignac]	19.2 km²
O5344010	Salles-Curan	Le Vioulou	638138	1912229	Le Vioulou à Salles-Curan [Trébons-Bas]	57 km²
O4704030	Rayssac	Le Dadou	608382	1868950	Le Dadou à Paulinet [St-Jean-de-Jeannes]	72 km²
O5424010	Centrès	Le Céor	605566	1904696	Le Céor à Centrès [Estrebalde]	160 km²
O7175010	Coubisou	La Coussane	630630	1953506	La Coussane à Coubisou [Cabrespine]	41 km²

Illustration 29 - Présentation des stations hydrométriques sélectionnées.

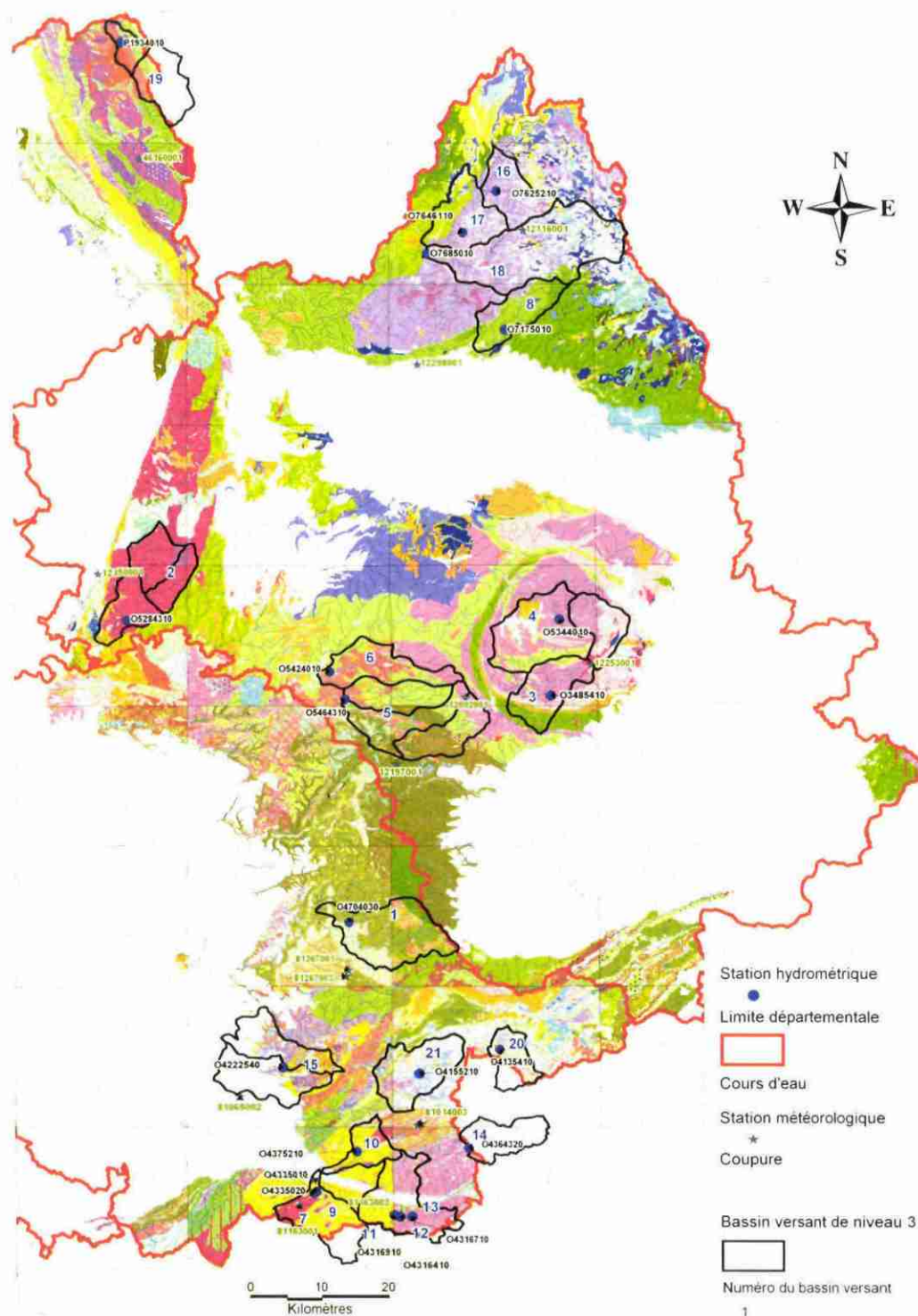


Illustration 30 - Localisation des stations hydrométriques et des bassins versants sélectionnés.

L'illustration 31 indique les données de débits spécifiques et de pluviométrie sur les stations hydrométriques sélectionnées qui s'organisent de la façon suivante :

- un numéro de référence du bassin versant sélectionné ;
- le code hydro de la station hydrométrique ;
- la superficie du bassin versant ;
- les principales formations géologiques composant le bassin versant ;
- la période de mesure du débit sur la station hydrométrique ;
- les différentes données de débits spécifiques avec :
 - la moyenne annuelle du débit spécifique,
 - le débit spécifique minimum sur toute la période de mesure,
 - le débit spécifique maximum **d'étiage**¹ sur toute la période de mesure,
 - la moyenne des débits spécifiques **d'étiage** sur toute la période de mesure. C'est cette valeur qui sera sélectionnée en tant que débit spécifique d'étiage de la station hydrométrique concernée,
 - la moyenne des débits spécifique **d'étiage**, sur toute la période de mesure de la formation géologique concernée ;
- les données pluviométriques avec :
 - le nom de la (des) station(s) sélectionnée(s) et la période de mesure,
 - la moyenne des précipitations mensuelles **lors des périodes d'étiages sélectionnées** pour le calcul de la moyenne des débits spécifiques d'étiage,
 - la moyenne des précipitations mensuelles **en période d'étiage** pour une formation géologique concernée,
 - les commentaires relatifs à la collecte des données.

¹ Le débit spécifique d'étiage pour une année, dans le cadre de cette étude, est le mois où la valeur du débit spécifique moyen mensuel est le plus faible.

Numéro du Bassin versant	CODE_HYDRO	Superficie du Bassin-Versant	Formation géologique du bassin versant	Nombre d'années de mesure de débit	Période de référence	Débit spécifique (L/s/km²)					Pluviométrie			
						Moyenne annuelle	Q spécifique minimum sur toute la période de mesure	Q spécifique d'étiage maximum sur toute la période de mesure	Moyenne des débits spécifiques d'étiages sur toute la période de mesure	Moyenne des débits spécifiques d'étiage de la formation géologique sélectionnée	Station météo sélectionnée et période de mesure	Moyenne des précipitations mensuelles durant les périodes d'étiage (mm)	Moyenne des précipitations mensuelles durant les périodes d'étiage (mm) par formation géologique	Commentaire sur la pluviométrie
1.	D4704030	72 km²	Formation schisto-gréseuse	42	1968-2009	20,80	0,20	4,20	1,59	1,60	Saint Pierre de Treilay : - 81267001 de 1967 à 1992, - 81267003 de 1993 à 2009	63,7	63,7	
2.	O5284310	103 km²	Granite à biotite de villefranche de Rouergue	42	1968-2009	11,98	0,20	5,15	1,77	1,75	Montels : 12150001	49,8	49,8	
3.	O3485410	19,2 km²	Métagranitoïde anatectique du Vibal-Levezou	4	1953-1956	20,47	2,00	2,60	2,25	1,80	Salles-Curan : 12253001	65,8	65,6	
4.	O5344010	57 km²	Métagranitoïde anatectique du Vibal-Levezou	49	1960-2008	18,89	0,00	7,00	1,34		Salles-Curan : 12253001	65,5		
5.	O5464310	175 km²	Nappe de saint Sernin sur Rance	41	1968-2010	13,15	0,32	4,40	1,90	2,25	Requista : 12197001	48	51,1	Pas de donnée pluviométrique de 1922 à 1929
6.	O5424010	160 km²	Nappe de saint Sernin sur Rance	49	1922-1929; 1968-2009	13,72	0,60	8,50	2,55		Requista : 12197001 de 1967 à 2008; puis Durenque : 12092001 de 2008 à 2009	54,2		
7.	O4335020	59 km²	Granodiorite de Mazamet	7	1933-1939	31,28	1,80	6,20	3,30	3,3	Mazamet : 81163002	63,4	63,4	
8.	O7175010	41 km²	Schiste sériciteux	12	1961-1972	23,30	0,70	8,70	3,60	3,60	Villecomtal : 12298001	63,9	63,9	
9.	O4335010	57 km²	gneiss de la zone axiale	39	1933-1939; 1968-1999	30,00	2,00	11,00	4,80	4,00	Mazamet : - 81163002 de 1933 à 1939, Mazamet : 81163001	58,1	43,3	
10.	O4375210	15 km²	gneiss de la zone axiale	2	1967-1968	13,84	2,30	4,30	3,30		Mazamet : 81163001	28,5		
11.	O4316410	4,2 km²	Gneiss d'Heric	2	1969-1970	70,50	4,30	7,10	5,90	4,00	Mazamet : 81163001	59,45	56,9	
12.	O4316710	3,1 km²	Gneiss d'Heric	1	1969	74,70	/	/	3,23		Mazamet : 81163001	75,3		
13.	O4316910	3,7 km²	Gneiss d'Heric	1	1969	56,76	/	/	5,41		Mazamet : 81163001	41,6		
14.	O4364320	58 km²	Gneiss d'Heric	4	1920-1929	31,40	1,00	1,70	1,50		Mazamet : 81163002	51,25		
15.	O4222540	3,7 km²	Granite du Sidobre	1	1978	/	/	/	4,5*	4,50	Castres : 81065002	49	49	Moyennes des précipitations d'août, de septembre et d'octobre
16.	O7625210	37 km²	Granite porphyroïde à biotite de la Margeride	19	1961-1980	24,24	0,80	11,00	4,50	4,75	Huparjac : 12116001	62,7	69,9	
17.	O7646110	14,5 km²	Granite porphyroïde à biotite de la Margeride	4	1963-1966	23,76	2,00	6,90	5,50		Huparjac : 12116001	77,06		
18.	O7685010	189 km²	Granite porphyroïde à biotite de la Margeride	6	1935-1940	33,76	2,75	4,95	4,25					
19.	P1934010	85 km²	Granite+gneiss+micaschiste de type Millevache	10	1957-1966	24,10	2,20	10,30	5,48	5,50	Latronquiere : 46160001	60	60	
20.	O4135410	6 km²	Alternance de granite + gneiss + schiste de Lacauze	8	1956-1963	39,58	5,00	13,00	7,50	7,80	Angles : 81014001	77,4	77,4	Pas de donnée pluviométrique de janvier 1955 à Août 1956
21.	O4155210	17,4 km²	Alternance de granite + gneiss + schiste de Lacauze	9	1955-1963	28,99	4,00	12,00	6,10		Angles : 81014001 de 1956 à 1963	77,4		

Illustration 31 - Présentation des données de débits spécifiques et de pluviométrie sur les stations hydrométriques sélectionnées.

Il a été possible de classer les bassins versants par formations géologiques en fonction de la contribution de la nappe aux débits du cours d'eau en période d'étiage.

12 formations géologiques sont représentées et couvrent environ 1 176 km², soit environ 14 % de la zone d'étude. L'illustration 32 présente le classement des formations géologiques en fonction de leur débit spécifique d'étiage.

Numéro du Bassin versant	CODE_HY DRO	Superficie du Bassin-Versant	Formation géologique du bassin versant	Commentaire géologique et/ou hydrogéologique	Moyenne des débits spécifiques d'étiage de la formation géologique sélectionnée (L/s/km ²)
1	O4704030	72 km ²	Formation schisto-gréseuse	Ce bassin versant est composé par une alternance de bancs de grès phylliteux assez sombres et de lits schisteux noirs	1,60
2	O5284310	103 km ²	Granite à biotite de Villefranche de Rouergue	Le granite à biotite de Villefranche de Rouergue compose dans sa globalité ce bassin versant. Ce plateau granitique possède une couche d'arène très importante (> 50 m). Ce sont dans ces arènes que le réseau hydrographique s'est formé	1,75
3	O3485410	19.2 km ²	Métagranitoïde anatectique du Vibal-Lévêzou	Ces bassins versants sont situés dans Le Lévêzou, qui est constitué d'orthogneiss et de paragneiss plus ou moins mobilisés selon les endroits. Le Bassin versant n° 3 est constitué à 90% de Métagranitoïde anatectique, 5% de Micaschiste et 5% de paragneiss	1,80
4	O5344010	57 km ²	Métagranitoïde anatectique du Vibal-Lévêzou	Le bassin versant n°4 est constitué de 75% de Métagranitoïde anatectique et de 25% de paragneiss	
5	O5464310	175 km ²	Nappe de saint Sernin sur Rance	Les bassins versants constitués par les formations de la Nappe de Saint Sernin sur Rance sont composés à 90 % de formations schisto-gréseuse, 5% d'orthogneiss et 5 % de formation sédimentaire tertiaire	2,25
6	O5424010	160 km ²	Nappe de saint Sernin sur Rance		
7	O4335020	59 km ²	Granodiorite de Mazamet	Ce bassin versant est constitué à 95% de granodiorite et à 5% de gneiss de la zone axiale	3,3
8	O7175010	41 km ²	Schiste sériciteux	Ce bassin versant est constitué à 85% par les schistes sériciteux de Vieilleville-Conques-Engualières, à 10 % par des micaschistes à 2 micas, et à 5% par le granite porphyroïde à micas de la Margende	3,60
9	O4335010	57 km ²	gneiss de la zone axiale	Ces bassins versants sont situés en globalité dans les gneiss de la zone axiale	4,00
10	O4375210	15 km ²	gneiss de la zone axiale		
11	O4316410	4.2 km ²	Gneiss d'Héric	Ces bassins versants sont situés en totalité dans les gneiss d'Héric	4,00
12	O4316710	3.1 km ²	Gneiss d'Héric		
13	O4316910	3.7 km ²	Gneiss d'Héric		
14	O4364320	58 km ²	Gneiss d'Héric		
15	O4222540	3,7 km ²	Granite du Sidobre	La valeur du débit spécifique pour ce bassin versant est issue de la thèse de B. Grano « Contribution à la connaissance hydrogéologique des massifs cristallins Application au massif granitique du Sidobre et de la zone axiale de la Montagne Noire ». L'emplacement exact du jaugeage pour ce bassin versant n'est pas connu. Toutefois, selon cette thèse, le bassin versant en amont du point jaugeage est constitué essentiellement de granite	4,50
16	O7625210	37 km ²	Granite porphyroïde à biotite de la Margeride	Ces bassins versants sont situés sur le granite porphyroïde à biotite de la Margeride. Les bassins versants 16 et 17 sont constitués en globalité par le granite. Le Bassin versant est lui constitué par 80 % de granite et 20% de formations volcaniques qui se trouvent plus en aval.	4,75
17	O7646110	14.5 km ²	Granite porphyroïde à biotite de la Margende		
18	O7685010	189 km ²	Granite porphyroïde à biotite de la Margende		
19	P1934010	85 km ²	Granite+gneiss+micaschiste de type Millevache	Ce bassin versant est situé sur des granodiorites, des granites, des micaschistes et des gneiss. Le cours d'eau prend sa source au niveau du granite de Glenat.	5,50
20	O4135410	6 km ²	Alternance de granite + gneiss + schiste de Lacauane	Ces deux bassins versants sont situés sur des alternances de granite, de gneiss et de schistes.	7,80
21	O4155210	17.4 km ²	Alternance de granite + gneiss + schiste de Lacauane		

Illustration 32 - Classement des formations de socle en fonction de leurs données de débits spécifiques

Les plus fortes valeurs sont attribuées aux formations granitiques (Margeride, Monts Lacauane : entre 4 et 7.8 l/s/km²), les formations gneissiques (zone axiale et les gneiss d'Héric) abritent des débits spécifiques moyens (4 l/s/km²), alors que les formations

schisteuses offrent des valeurs sensiblement inférieures (environ 2 l/s/km²). Les précipitations moyennes mensuelles ont été collectées sur 14 stations météorologiques sélectionnées en fonction de leur proximité avec les stations hydrométriques étudiées. Elles permettent de pondérer et de confronter entre elles les données de débit spécifiques lorsque les périodes d'étiages sont différentes.

L'illustration 33 présente la corrélation entre la pluviométrie et les débits spécifiques calculés.

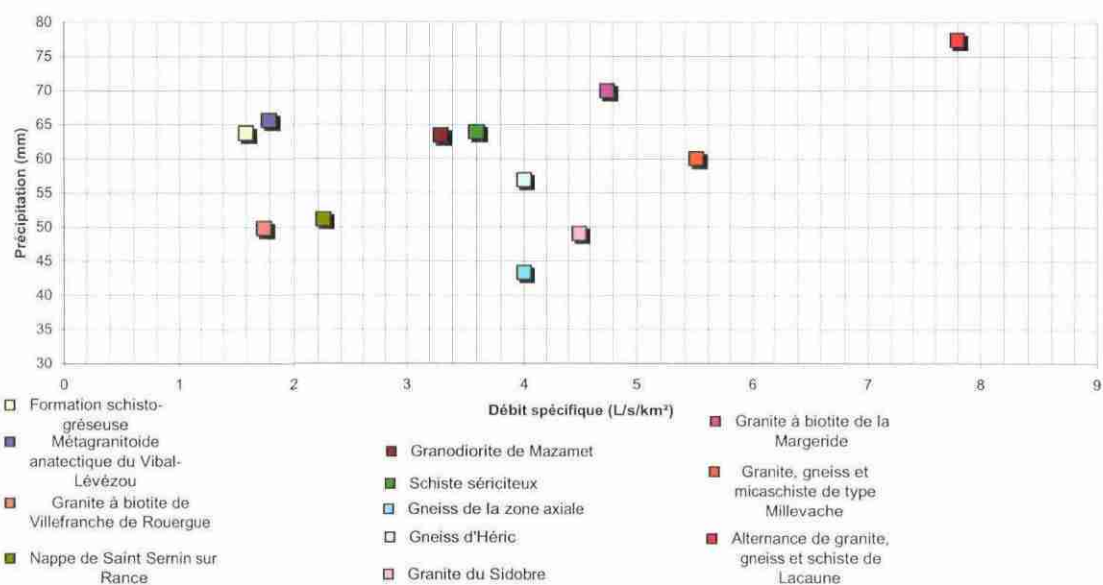


Illustration 33 - Corrélation pluviométrie / débit spécifique.

Les fortes valeurs de débits spécifiques mesurées sur les formations granitiques des monts de Lacau est à mettre en corrélation avec une pluviométrie importante lors de la période d'étiage. Pour les autres valeurs, il n'est pas noté de tendance particulière. Il serait souhaitable de réaliser une campagne de jaugeage en période d'étiage sur les secteurs définis comme étant à fort potentiel hydrogéologique afin d'estimer et contrôler la réalité de ce potentiel.

5.5. PRELEVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE

Comme le présente l'illustration 34, les prélèvements sur la zone d'étude sont à 88 % effectués dans les captages de sources, et à 11 % dans les puits ou forages. Ils sont en très grande partie destinés à l'alimentation en eau potable (93 %) et dans une moindre partie à l'industrie (7 %) (Illustration 35). Aucun prélèvement agricole, selon les fichiers MISE des départements du Lot, du Tarn et de l'Aveyron, a été recensé sur la zone d'étude.

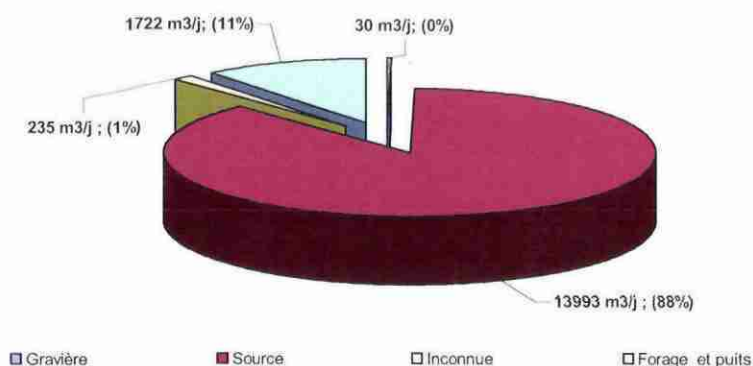


Illustration 34 - Prélèvements sur la zone d'étude en fonction de la nature de l'ouvrage.

Les prélèvements industriels ont été estimés à partir des fichiers de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Ceux destinés à l'alimentation en eau potable ont été récoltés auprès de la banque de données SISE-eau (moyennes journalières en m³/j de l'année 2009). Sur la zone d'étude, il est estimé un prélèvement journalier moyen d'environ 16 000 m³ dont près de 15 000 m³ pour l'AEP.

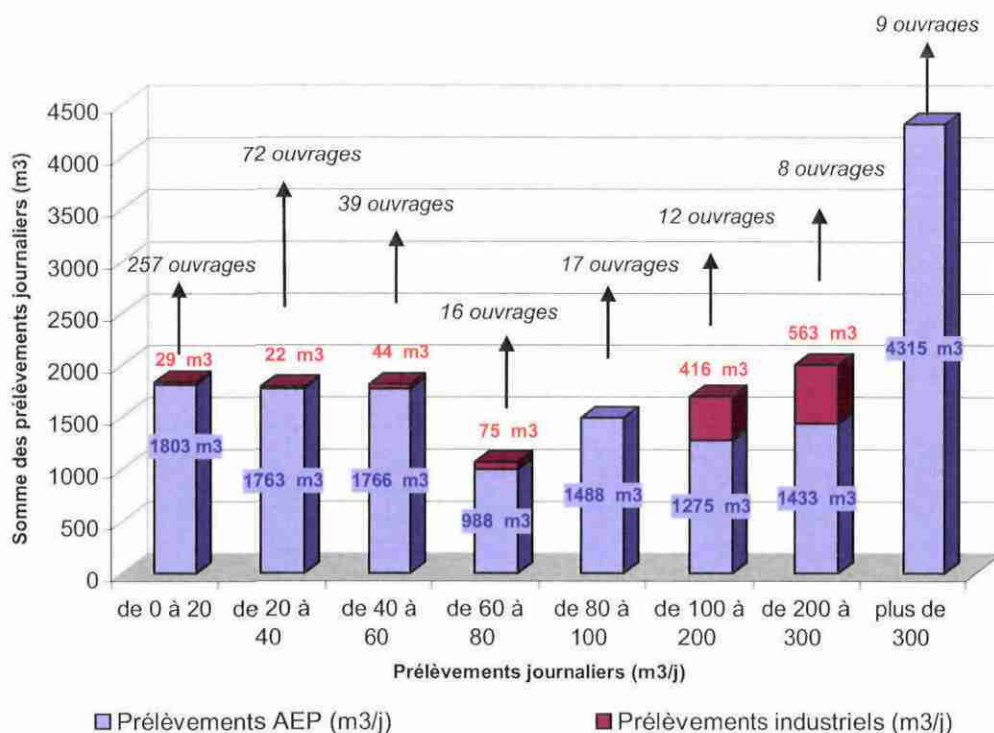


Illustration 35 - Répartition des prélèvements journaliers moyens par usage (sources : AEAG, fichier SISE Eau).

L'illustration 36 présentent la localisation des prélèvements AEP et industriels sur la zone d'étude.

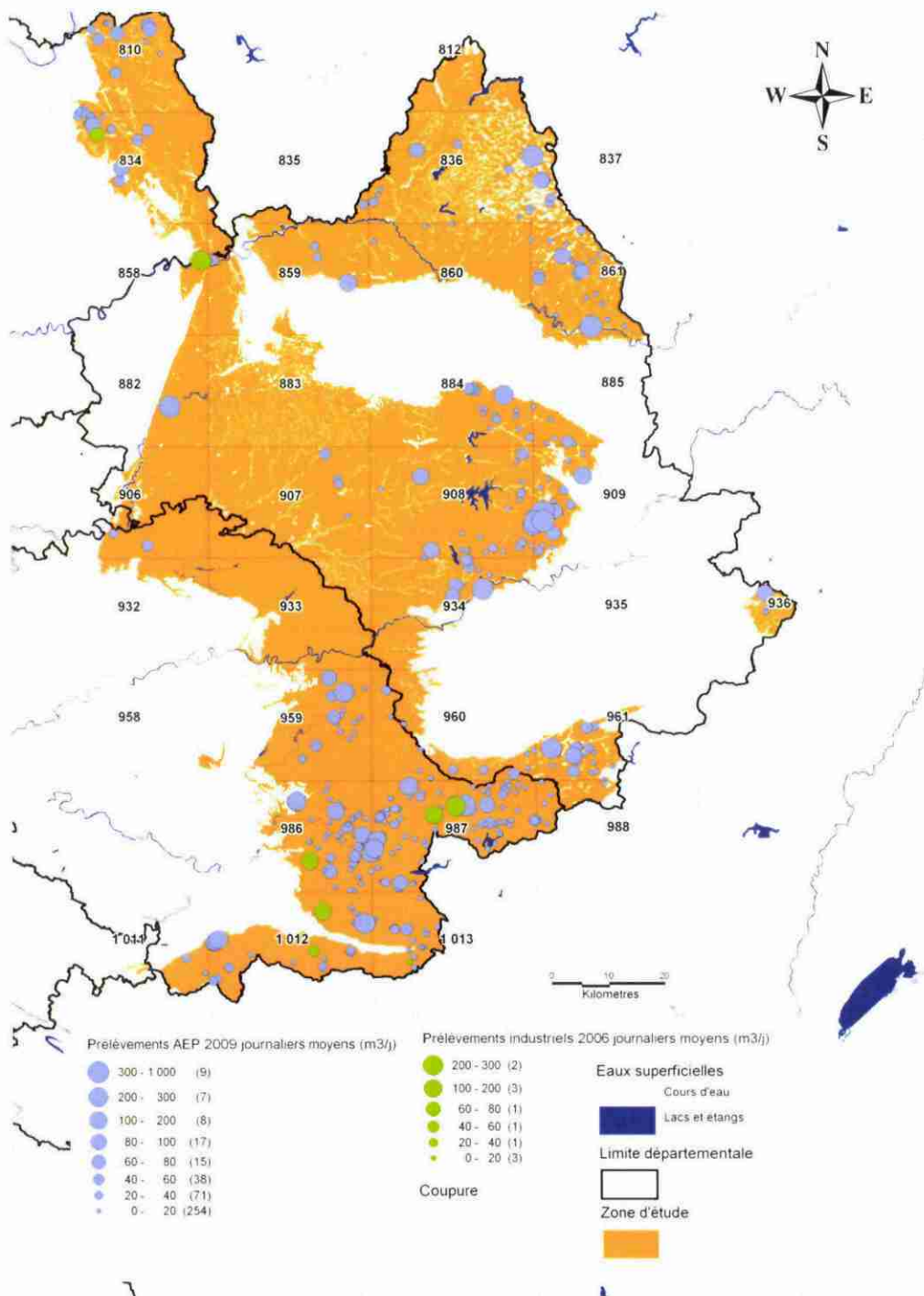


Illustration 36 - Localisation des prélèvements AEP et industriels sur la zone d'étude (sources : fichiers des prélèvements en eau souterraine de AEAG, et SISE Eau).

La répartition des prélèvements est hétérogène. Le secteur entre le massif du Sidobre et les Monts de Lacaune est le siège d'un grand nombre de captages (environ 180) et la somme de ces prélèvements représentent 1/3 des prélèvements totaux sur la zone d'étude. Le secteur du Vibal-Lévézou est également largement exploité pour l'AEP où plusieurs captages de sources font l'objet de prélèvements supérieurs à 300 m³/j.

Le granite de la Margeride, ainsi que les formations géologiques du centre et du centre-ouest de la zone d'étude sont, quant à eux, très peu exploitées.

Remarque : *il est important de noter que les volumes prélevés sont le plus souvent imprécis, et sont estimés selon 3 classes en fonction du niveau de connaissance de l'ouvrage d'exploitation : volume mesuré lorsque un relevé de compteur volumétrique est disponible, volume « réglementaire » lorsque il s'agit du volume autorisé par voie réglementaire (débit horaire ou volume annuel), volume forfaitaire lorsque, en l'absence de compteur volumétrique, le volume est estimé empiriquement à partir de besoins identifiés et le type de nappe (par exemple : à partir des surface irriguées et du type de culture pratiqué).*

5.6. DONNNEES GEOCHIMIQUES

5.6.1. Introduction

Les eaux souterraines dans le Massif-Central, comme souvent au droit des massifs cristallins, contiennent parfois certains éléments traces, surtout métalliques, à des teneurs supérieures aux seuils imposés par la réglementation. Leur présence peut engendrer localement des problèmes d'exploitation. En effet, ces éléments sont néfastes et dangereux d'une part, pour l'environnement car ils sont non dégradables et d'autre part, pour la santé humaine de par leur toxicité, même à faible concentration.

Leur provenance est diverse. Ils peuvent être issus du sol et du sous-sol (arsenic, plomb,...), de la pollution atmosphérique (plomb, cadmium...), d'engrais (cadmium, plomb, arsenic...), voire de boues urbaines (mercure, plomb, cadmium...) épandues sur des terres agricoles. La mise en solution de ces éléments indésirables par les eaux météoriques s'effectue lors de leur infiltration dans le sol et de leur parcours dans le sous-sol. En zone de socle, la présence d'ions métalliques dans le sous-sol est fréquente, parfois à l'origine de gisements miniers dont certains ont été exploités par le passé. En conséquence, afin de bien interpréter la qualité des eaux souterraines, résultante d'échanges avec le milieu naturel, il est intéressant d'apprécier les niveaux des fonds géochimiques naturels pour les éléments les plus pertinents ainsi que de disposer d'informations concernant les indices miniers. Par éléments traces, il est entendu tous les éléments considérés comme toxiques ou indésirables par la Directive « Eau Potable » 98/60/CE et par son décret d'application en droit français (n° 1220 du 20 décembre 2001). Il s'agit de : l'arsenic, le baryum, le bore, le fluor, le cadmium, le chrome, le mercure, le cuivre, le nickel, le plomb, le zinc, l'antimoine, le sélénium, l'aluminium, l'argent, le fer et le manganèse (cf. tableau en Illustration 37).

		Norme (Décret 1220 du 20/12)	Fond géochimique dans les eaux souterraines
Toxiques	Antimoine	5 µg/l	Les teneurs en antimoine supérieures au seuil analytique de 1 µg/l sont rares, elles ont lieu dans les zones très localisées dont le fond géochimique naturel est riche en antimoine.
	Arsenic	10 µg/l	Des concentrations dans les eaux souterraines de quelques µg/l à quelques dizaines de µg/l en arsenic sont assez fréquentes. Les variations des conditions d'oxydo-réduction du milieu influencent les teneurs en arsenic.
	Cadmium	5 µg/l	Il n'existe que très peu de concentration significative en cadmium d'origine naturelle. Elles sont si basses que leur mesure nécessite l'utilisation de méthodes analytiques fines de type ICP-MS.
	Chrome	50 µg/l	Les teneurs en chrome sont généralement inférieures à 1 ou 2 µg/l. Des plus fortes concentrations en chrome ne sont possibles que dans les eaux très oxygénées, mais ne dépassent jamais la norme.
	Mercur	1 µg/l	La concentration en mercure dans les eaux souterraines ne dépasse généralement pas 1 µg/l. Les valeurs se situent le plus souvent autour de 0,1 µg/l. Peu de roches contiennent du mercure.
	Nickel	20 µg/l	Les concentrations en nickel sont généralement inférieures à quelques µg/l, même pour des eaux issues de milieux potentiellement riches en nickel. Des concentrations de quelques centaines de µg/l sont tout de même possibles dans le cas de l'oxydation de la pyrite.
	Plomb	10 µg/l	Des concentrations en plomb d'origine naturelle supérieures au seuil analytique sont très rares même si le contexte géologique est très riche (faible solubilité des complexes qu'il forme avec d'autres éléments).
	Sélénium	10 µg/l	Le sélénium est rare dans les eaux naturelles. Les plus fortes concentrations connues sont de l'ordre de 60 µg/l.
Indésirables	Aluminium	200 µg/l	Il n'est pas rare de rencontrer dans les eaux naturelles quelques µg/l, voire quelques dizaines de µg/l d'aluminium. Il arrive même que le seuil soit dépassé lorsque le pH du milieu est très acide.
	Argent	10 µg/l (décret français 89-3)	Les caractéristiques chimiques de l'argent n'autorisent pas l'existence, dans les eaux naturelles, de concentrations significatives (>1 µg/l). La solubilité de l'argent est limitée, mais des teneurs supérieures à 10 µg/l seraient tout de même possibles dans des conditions oxydantes.
	Baryum	700 µg/l	Elles dépassent couramment 100 µg/l dans les eaux souterraines. La présence de barytine est un élément favorable à ces occurrences à condition que la concentration en sulfates n'excède pas 10 mg/l. En effet, en présence d'ions sulfates, le baryum précipite en barytine.
	Cuivre	2 mg/l	Les caractéristiques chimiques de l'argent n'autorisent généralement pas l'existence de concentrations significatives dans les eaux naturelles. Celles-ci ne dépassent pas 1 µg/l, même si des teneurs plus fortes sont possibles à un pH plus acide et si il y a oxydation de sulfures de cuivre.
	Fer	200 µg/l	La concentration en fer dans les eaux souterraines est principalement contrôlée par le pH et le Eh du milieu, ainsi que par la matière organique. De très fortes teneurs existent et atteignent plusieurs mg/l lorsque les conditions sont optimales pour la mise en solution du fer.
	Manganèse	50 µg/l	Comme pour le fer, les teneurs en manganèse sont essentiellement contrôlées par les conditions de pH et de Eh. Il est possible de rencontrer dans les eaux plus de 1 mg/l de manganèse en milieu réducteur.
	Fluor	1,5 mg/l	Des concentrations de quelques mg/l de fluor ne sont pas rares dans les eaux souterraines du fait de sa forte solubilité. Des facteurs comme le pH ou encore la température sont importants pour la mise en solution du fluor.
	Zinc	5 mg/l	Aucune eau naturelle ne dépasse la norme de qualité. Les plus fortes concentrations connues sont de quelques centaines de µg/l. Mais il existe, pour des concentrations inférieures à 1 mg/l, un lien entre la géologie et du milieu et la concentration en zinc dans des eaux souterraines.

Illustration 37 - Teneurs en éléments traces dans les eaux souterraines
(d'après Blum et al., 2002)

L'étude géochimique sur les formations de socle du Massif central en Midi-Pyrénées a pour objet d'informer et d'attirer l'attention des décideurs sur la présence ou non des éléments considérés comme toxiques ou indésirables par la Directive « Eau Potable » 98/60/CE et par son décret d'application en droit français (n° 1220 du 20 décembre 2001). Ces éléments présents dans les sols ne sont pas nécessairement retrouvés

dans les eaux souterraines, les processus de transfert dans la zone non saturée sont complexes et souvent méconnus. Il s'agit donc de prendre avec grande prudence ces résultats qui ne doivent constituer qu'un indicateur pour les décideurs. Dans l'optique de la mise en exploitation d'un captage d'eau souterraine, il sera nécessairement contrôlé la présence ou l'absence des éléments traces qui auront été pressentis dans les eaux souterraines. La démarche est organisée en trois étapes :

- a) présentation des travaux nationaux réalisés par le BRGM en 2007 sur l'identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines à partir de la carte géologique à 1/1 000 000 ;
- b) analyse et cartographie pour chaque élément trace sélectionné réalisées à partir des données de l'inventaire minier national. Ce travail permet de définir un fond géochimique local et de souligner les zones anormales en éléments traces dans les sols susceptibles de se trouver en concentration significative dans les eaux du secteur ;
- c) une présentation et une cartographie des gîtes minéraux sont représentées.

5.6.2. Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines

Rappels méthodologiques

L'étude sur l'identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines, réalisée en 2007 par le BRGM, est organisée en cinq volumes, correspondant chacun à un bassin hydrographique. Elle est basée sur une synthèse bibliographique préalable. Puis, après correction et traitement statistique des données brutes de concentration en éléments traces pour les eaux de surface et les eaux souterraines, les informations collectées ont été croisées sur des supports cartographiques pertinents. L'objectif est de dégager à 1/1 000 000 des unités géologiques pouvant présenter des caractéristiques comparables en termes d'occurrence et de mobilisation des éléments traces vers les eaux souterraines et les eaux de surface. L'aboutissement de ce travail a consisté en la délimitation des zones à risque de fond géochimique élevé en attribuant pour chaque zone un niveau de confiance (faible, moyen et élevé) rendant compte de la disparité des données disponibles. Pour les zones identifiées avec un niveau de confiance élevé, une quantification du fond géochimique a été proposée. Pour les zones où le niveau de confiance est clairement insuffisant pour aboutir à une quantification du risque, des recommandations concernant la définition de futurs programmes d'acquisition de données pertinents ont été formulées.

Ce travail a permis de dégager des unités géologiques à 1 / 1 000 000 et les principaux éléments traces présents dans les lithologies associées à des aquifères. Les résultats sont synthétisés sur l'illustration 38 et une analyse prédictive des éléments traces susceptibles d'être présents dans les eaux est proposée sur l'illustration 39 (présence potentielle déduite d'Arsenic, Fer et Manganèse dans les formations granitiques de la zone d'étude).

Sous-unités	Libellé aquifère	Lithologie des roches	Principaux minéraux ou groupes de minéraux dans la lithologie	Éléments présents dans la lithologie	Lithologie des filons	Principaux minéraux dans les minéralisations associées	Éléments présents dans les minéralisations associées	Références
Aquifères de roches cristallines du Massif Central	Granitique	Granites, microgranites, granodiorite, calco-a-caine, granite calco-a-calin, diorite, gabbro, batholite, leucogranite, épidyrite, lamprophyre, monzogranite	Biotite, muscovite, quartz, plagioclase, hornblende, pyroxène, feldspath, potassique, zircon, apatite, amphibole	Al, Fe, As, F, Ba, U				Bogdanoff et al., 1989; Barbier et Chéry, 1997; Sanjuan et al., 2001
	Métamorphique	Gneiss, migmatite, quartzite, micaschistes, leptynite, métatexites, diatexite	Quartz, feldspaths, biotite, cordiérite, plagioclase, muscovite, zircon, sillimanite, grenat, serpentine, quartz barytique, galène, oxyde de plomb, mikiépe aurifère	Al, Pb, Ag, As, F, Ba, U	Microgranite porphyrique, microdiorite, lamprophyre, pegmatite, aplite, pyrolusite	Biotite, chlorite, quartz, muscovite, feldspath, potassique, pyroxène, pyrite, mikiépe, or, oxyde de fer, chlorite, malachite, azurite	F, Ba, U, Al, Fe, Sb, Mn, Cu, As	Bogdanoff et al., 1989; Barbier et Chéry, 1997; Sanjuan et al., 2001

Illustration 38 - Lithologie associée aux aquifères des parties sud et ouest du Massif central et principaux éléments présents (BRGM/RP-55346-FR).

Sous-unités	Libellé aquifère	Libre / captif	Milieu d'écoulement	Éléments traces susceptibles d'être présents		Références*
				Déduit de l'analyse prédictive	Signalés dans la bibliographie	
Aquifères de roches cristallines du Massif Central	Granitique	Libre et captif	Fracturé	As, Fe, Mn		Bogdanoff et al., 1989; Barbier et Chéry, 1997; Sanjuan et al., 2001
	Métamorphique		Fracturé			
Aquifères volcaniques du Massif Central	Aubrac					
	Cantal					
	Cézallier					
	Mont-Dore					

Illustration 39 - Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères des parties sud et ouest du Massif Central et analyse prédictive des occurrences en éléments traces dans les eaux. (BRGM/RP-55346-FR).

Contexte de la zone d'étude

La zone de socle dans le Massif Central en Midi-Pyrénées est constituée en globalité par la Masse d'eau Souterraine (MESO) 5008 et en partie par les MESO 5006, 5007, 5009, 5010 et 5090. Ces MESO sont présentées sur l'illustration 40 et l'illustration 41.

CODE_MESO	NOM_MASSE_EAU	CODES_ENTITÉS_V1	SURFACE (km ²)
5006	SOCLE BV DORDOGNE SECTEURS HYDRO P0-P1-P2	606a, 608, 608p0, 608p1, 608p2, 700	5141.12
5007	SOCLE BV LOT SECTEURS HYDRO 07-08	607e, 608, 609	5415.78
5008	SOCLE BV AVEYRON SECTEUR HYDRO 05	608, 609	2773.21
5009	SOCLE BV TARN SECTEURS HYDRO 03-04	558a, 607e, 609	4159
5010	VOLCANISME AUBRAC	606b, 608	369
5090	MOLASSES DU BASSIN DE L'AVEYRON	561, 562	1415.55

Illustration 40 - Présentation des masses d'eau souterraine constituant la zone de socle dans le Massif Central en Midi-Pyrénées.

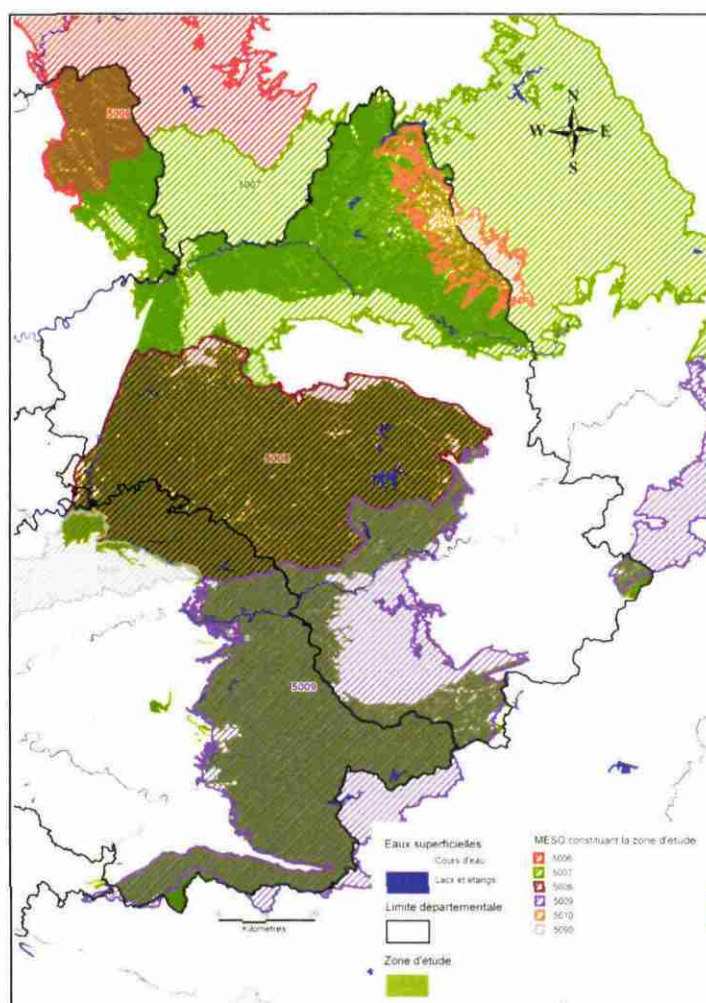
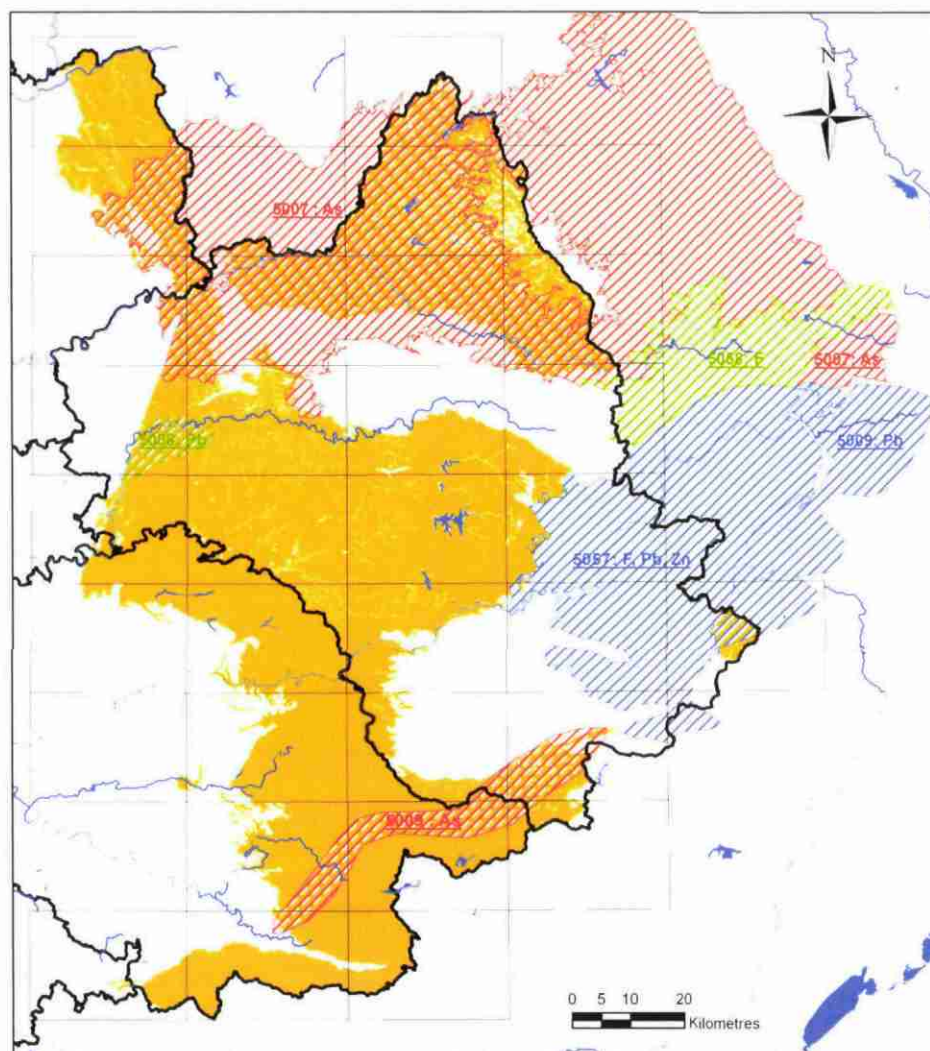


Illustration 41 - Localisation des masses d'eau souterraine constituant la zone de socle dans le Massif Central en Midi-Pyrénées.

La méthodologie mise en place a permis de définir des zones à risque de fond géochimique élevé qui sont représentées sur l'illustration 42.



Légende

- Cours d'eau
- Lacs et étangs
- Limite départementale
- Coupure
- Zone d'étude

Niveau de confiance attribué à la délimitation des zones à risque de fond géochimique élevé

- /// Elevé
- /// Moyen
- /// Faible

Illustration 42 - Niveau de confiance attribué à la délimitation des zones à risque de fond géochimique élevé.

Ainsi, la **masse d'eau 5008** « Socle BV Aveyron », recoupe des concentrations élevées en Pb dans les sols et alluvions fines (> 1 000 ppm) documentées par l'inventaire géochimique et la présence d'indice minier en Pb. La présence de cet

élément dans les lithologies associées est également documentée dans la bibliographie (Illustration 38). En raison du peu d'analyses disponibles pour les eaux souterraines (les seuils de quantification restent insuffisants pour identifier un fond géochimique), une zone à risque de fond géochimique en plomb est identifiée avec un niveau de confiance faible.

La masse d'eau 5007 « Socle BV Tarn » présente également des concentrations élevées en arsenic pour les eaux souterraines (jusqu'à $190 \mu\text{g.L}^{-1}$, données ADES). L'inventaire géochimique, la présence d'indices miniers en arsenic et les données issues de la synthèse bibliographique appuient la délimitation d'une zone à risque de fond géochimique élevé en arsenic avec un niveau de confiance élevé.

La masse d'eau 5009 « Socle BV Tarn » présente des concentrations élevées en arsenic, atteignant jusqu'à $25 \mu\text{g.L}^{-1}$. Les données issues de l'inventaire géochimique, la présence d'indices miniers en arsenic et les données issues de la synthèse bibliographiques suggère également un fond géochimique élevé en arsenic identifié avec un niveau de confiance élevé. Ce risque reste ponctuel, associé à des reminéralisations locales riches en arsenic le long des événements majeurs. Cette zone à risque concerne également l'élément Pb. En effet de nombreux indices miniers en plomb ont été identifiés sur ce secteur. Cependant en raison de l'absence d'analyse en Pb exploitable (seuils de quantifications insuffisants pour identifier un fond géochimique), cette zone est identifiée avec un niveau de confiance faible.

5.6.3. Fond géochimique de l'inventaire minier

L'inventaire minier de la France couvre l'ensemble du territoire. Il est basé sur une série d'analyses d'échantillons de sols sur une vingtaine de paramètres chimiques (méthode spectrométrique principalement) qui ont été échantillonnés dans les sols et les sédiments de ruisseaux en fonction de l'intérêt minier du secteur. Les formations de socle sont donc fortement représentées dans l'inventaire minier. La finalité de l'inventaire visait à la découverte de nouveaux gisements sur le territoire métropolitain.

Sur les feuilles inventaire au 1/50 000 couvrant la zone d'étude, 21 167 échantillons, ont été récoltés avec des densités d'échantillonnage, des méthodes analytiques, et le cortège d'éléments analysés variables d'une feuille à l'autre (localisation en Illustration 43).

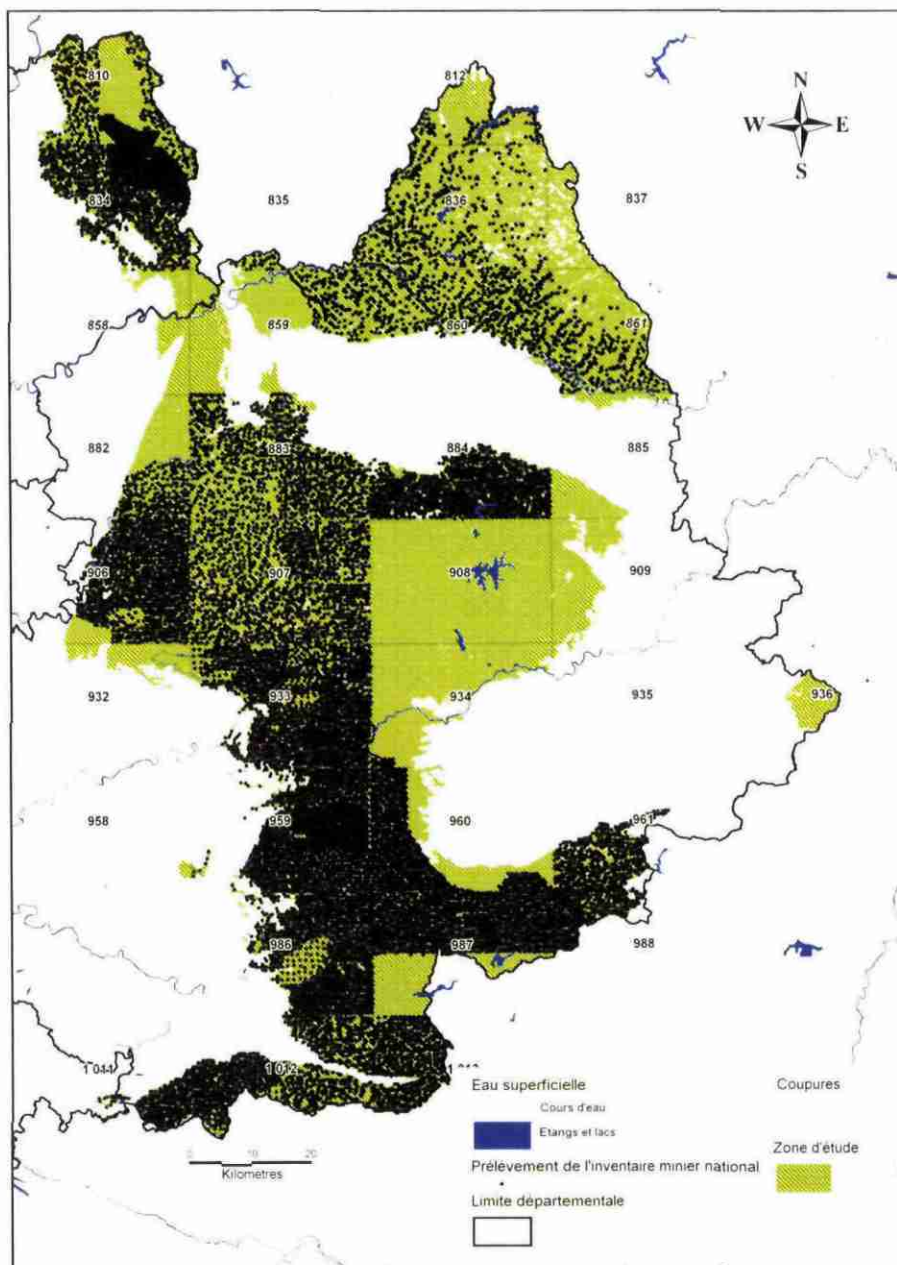


Illustration 43 - Zone couverte par l'inventaire minier national et la distribution de l'échantillonnage sur la zone d'étude.

Des statistiques globales ont été réalisées sur l'ensemble des échantillons afin de définir un fond géochimique local et de souligner **les zones anormales** en éléments traces dans les sols susceptibles de se trouver en concentration significatives dans les eaux du secteur. Pour cela, **un seuil de coupure a été défini par la valeur de la moyenne + 2 écarts types.**

L'analyse des données anormales se focalise sur les éléments considérés comme toxiques ou indésirables par la Directive « Eau Potable » 98/60/CE et par son décret

d'application en droit français (n°1220 du 20 décembre 2001). Les éléments sélectionnés (en rouge dans le tableau) et les statistiques globales réalisées sur le set d'échantillons de l'inventaire minier sont présentés dans l'illustration 44.

Éléments échantillonnés dans le cadre de l'inventaire minier national	Nombre d'analyse	Minimum	Maximum	Moyenne	Seuil de coupure (Moyenne + 2sigma)
Au	466	-5	135	-2,59	15,50
SiO ₂	1800	17,5	88,7	67,27	83,05
Al ₂ X	1800	5,2	29,1	17,51	26,60
Fe ₂ X	19509	0,1	28,7	5,14	9,15
CaO	1800	-1	41,6	-0,24	3,30
MgO	1800	-0,5	21,5	1,09	3,55
K ₂ O	1800	-0,2	10,2	4,19	7,18
MnO	21166	0,001	7,98	0,12	0,46
TiO ₂	1800	0,24	4,84	0,96	1,58
P ₂ O ₅	21007	0,0023	4,2849	0,20	0,45
Li	2142	-5	435	46,94	114,90
Be	21166	-2	39	2,32	8,95
B	20117	-10	358	34,99	99,04
V	21166	-10	2239	89,49	191,90
Cr	21165	-10	1347	59,06	135,74
Cn	21165	-10	166	10,29	38,77
Ni	21153	-10	931	22,89	71,70
Cu	21166	-10	1550	25,01	90,67
Zn	21166	-10	7200	106,51	366,78
As	20117	-20	3791	48,08	201,03
Sr	1800	36	2484	94,72	229,69
Y	20117	5	166	16,18	37,84
Nb	20117	-10	218	21,25	58,92
Mo	21166	-2	135	-1,30	3,22
Ag	21166	-0,2	50,7	-0,13	1,25
Cd	21166	-2	37	-1,80	0,40
Sn	20117	-20	771	-18,00	0,70
Sb	21166	-20	2698	-16,03	32,17
Ba	20117	10	17500	529,87	1177,84
La	1800	-10	2013	35,87	144,96
Ce	1800	-10	750	105,69	201,13
W	21166	-10	3680	-6,30	50,23
Pb	21166	-10	5845	50,76	305,99
Bi	1800	-5	6	-2,74	0,11
Zr	1800	96	4586	572,62	1202,99
F2	9704	70	21250	745,67	1406,09

En rouge : éléments sélectionnés dans le cadre de l'étude

Illustration 44 - Statistiques globales sur le set d'échantillons de l'inventaire minier.

La cartographie des valeurs anormales pour l'ensemble des éléments sélectionnés dans l'inventaire minier national est présentée en Illustration 45. Il s'agit d'une couche informative destinée à fournir tous les indicateurs aux futurs décideurs sur un secteur hydrogéologique qu'ils voudront voir exploités. Une cartographie de teneur anormale pour chaque élément sélectionné se trouve en Annexe 4.

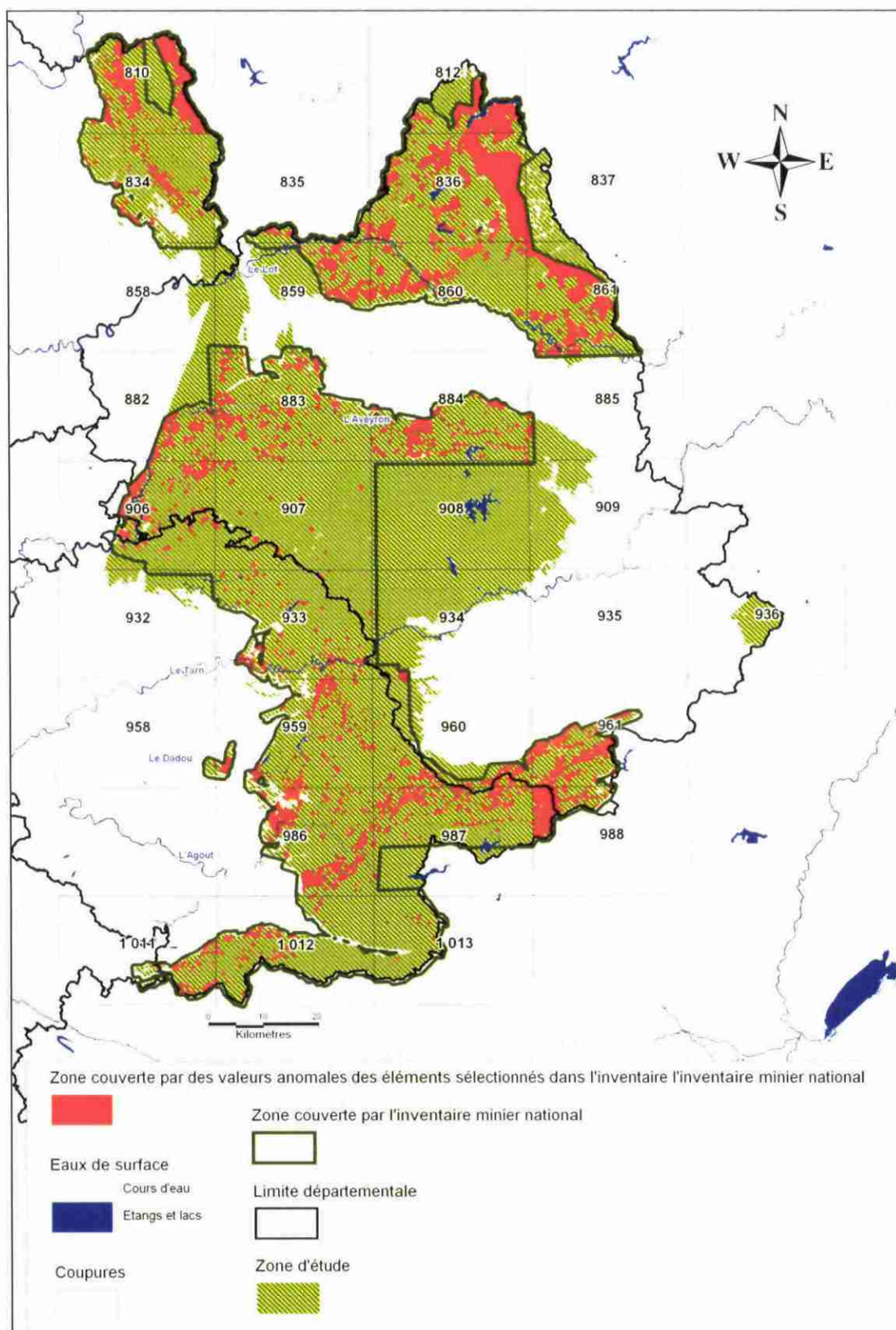


Illustration 45 - Zone couverte par les valeurs anormales des éléments sélectionnés dans l'inventaire minier national.

5.6.4. Les indices miniers

Le Massif central a été une des plus importante région minière de France avec des gisements et indices métallifères d'or de tungstène, d'antimoine, d'uranium et également de plomb, de zinc et d'argent (Bril *et al.*, 1994). Les principales exploitations minières présentes sur la zone d'étude sont présentées sur l'illustration 46. Ces anciennes exploitations ont généré de grandes quantités de déchet (stériles miniers) de nature diverse dans l'environnement notamment dans les eaux de surface. Ils sont particulièrement riches en éléments métalliques. Ces informations doivent également attirer l'attention des décideurs en cas de mise en exploitation d'un ouvrage situé à proximité d'un gîte minier.

La table identifiant chaque gîte et indice minier est présentée en Annexe 5. Elle indique le nom du site, sa production, son importance, la substance exploitée, la commune, les coordonnées du site, ainsi que la formation géologique affleurante liée au site.

5.7. BASE DE DONNEES (SIG)

Cinq couches d'information forment le Système d'information Géographique (SIG) des potentialités aquifères des formations de socle dans le Massif central en Midi-Pyrénées. Les éléments du SIG permettent, pour chaque entité géologique, une vision rapide sur ses potentialités aquifères, les paramètres géochimiques, les débits spécifiques en période d'étiage, ainsi que les données géologiques et hydrogéologiques présentes en BSS.

Ce SIG s'articule autour de la carte des potentialités aquifères définie selon des critères pétrographiques et géomorphologiques. Les informations suivantes sont mentionnées (Illustration 47) :

- la carte géologique à 1/50 000 de la zone d'étude, qui apporte les renseignements géologiques à l'affleurement,
- les points BSS avec les informations géologiques et hydrogéologiques liées,
- les bassins versants de niveau 3, selon la BD Carthage, sélectionnés pour la prise en compte du débit spécifique,
- les zones anomales dans le fond géochimique pour les éléments sélectionnés dans l'inventaire minier national.

Toutes ces données seront également intégrées dans le Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES, site <http://sigesmpy.brgm.fr>), afin d'être diffusées au grand public.

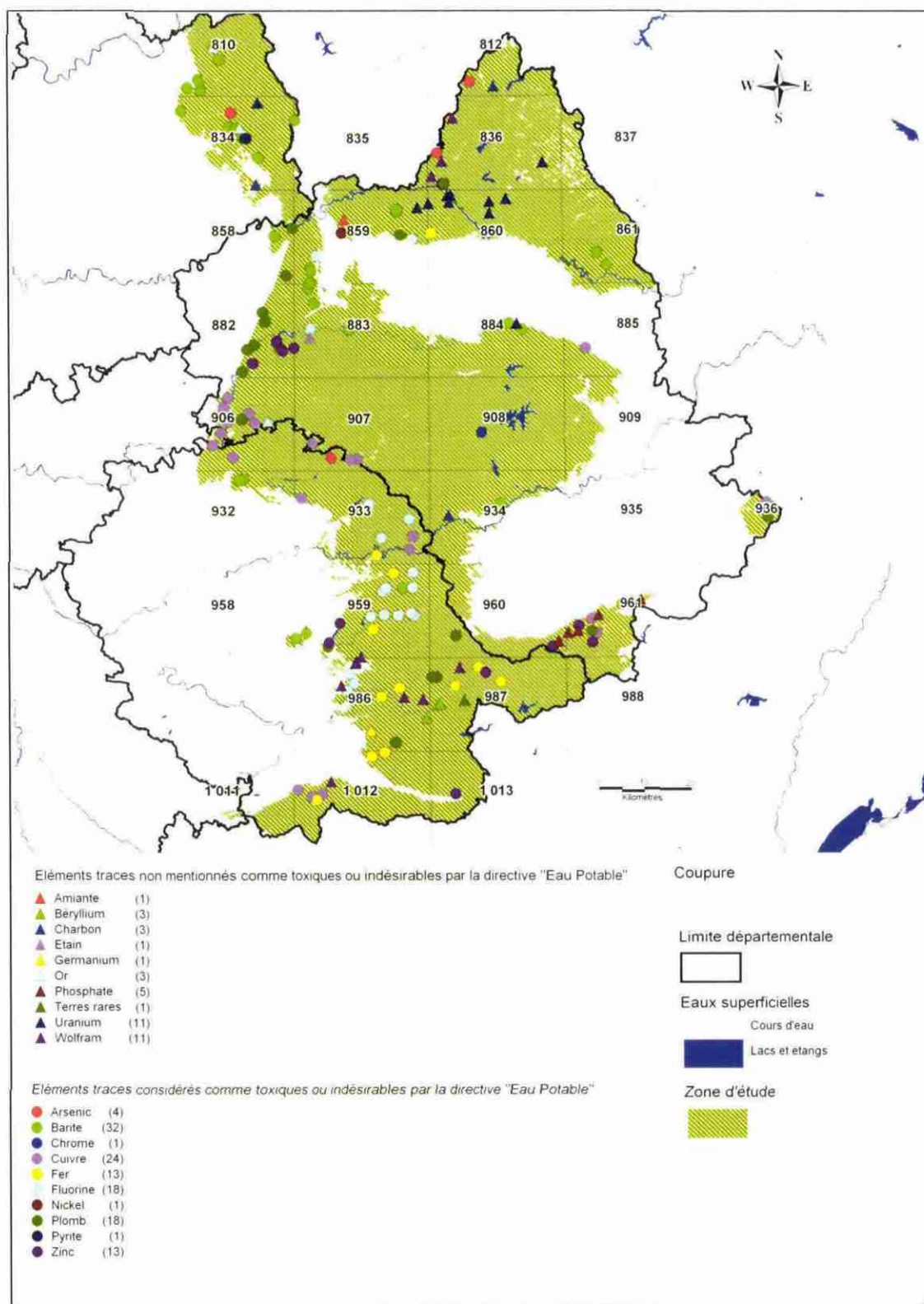
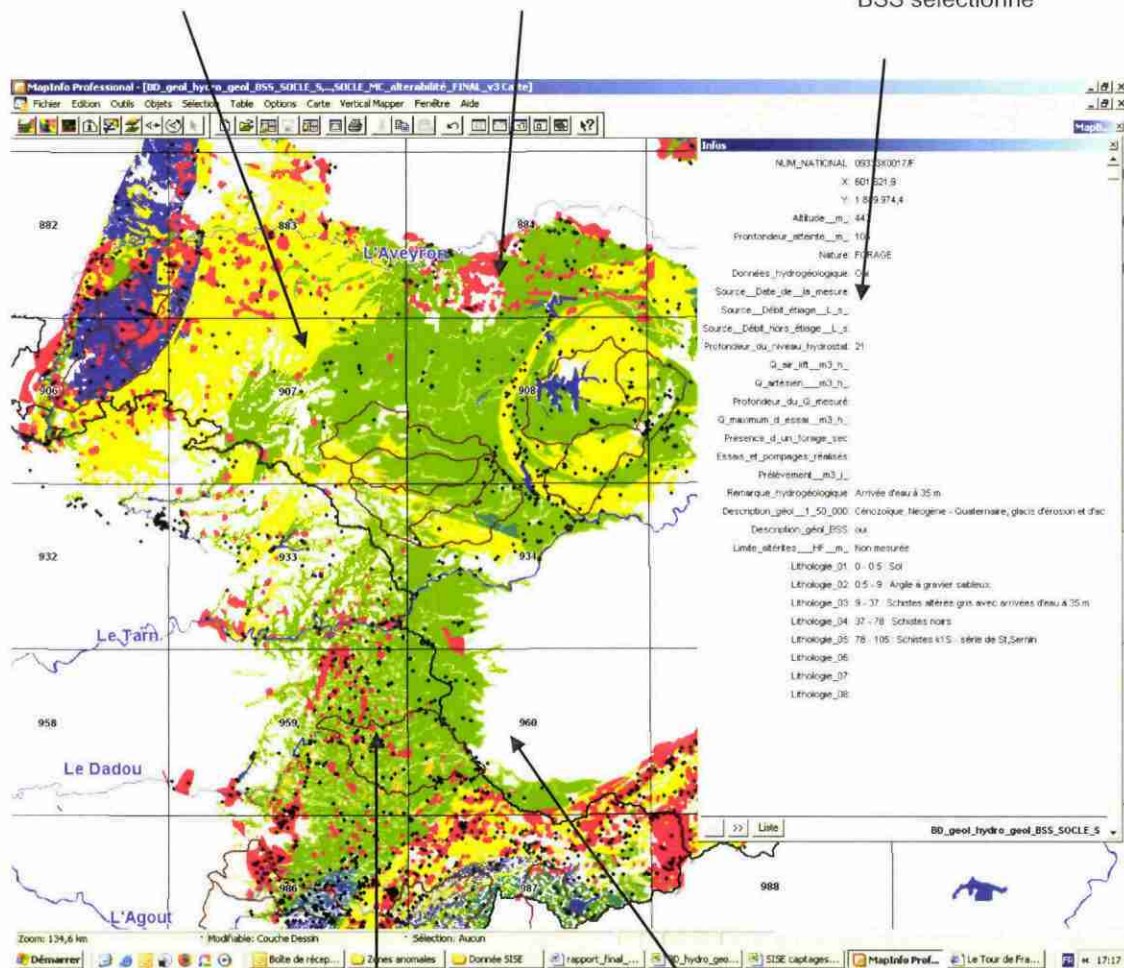


Illustration 46 - Localisation des gîtes et indices miniers relatifs à la zone d'étude.

En fond : Carte théorique des potentialités aquifères des formations de socle

En rouge : Zones anormales issues du fond géochimique de l'inventaire minier

Fenêtre d'information sur les données géologiques et hydrogéologiques du point BSS sélectionné



En marron : Bassins versants présentant des données de débits spécifiques en période d'étiage

En noir : Les ouvrages répertoriés dans la BSS sur la zone d'étude

Illustration 47 - Exemple de fenêtre du SIG sur les potentialités aquifères des formations de socle.

6. Reconnaissances de terrain

6.1. TRAVAUX PREPARATOIRES

6.1.1. Compilation des cartes géologiques

Les formations de socle affleurantes se répartissent sur 33 coupures géologiques à 1/50 000 sur la zone d'étude.

Une harmonisation des cartes géologiques a été réalisée en 2005 pour le département du Lot et en 2007 pour celui de l'Aveyron. Les 15 cartes géologiques concernant le département du Tarn n'ont pas été harmonisées entre elles. Il existe donc des approximations de contours géologiques sur quelques limites de coupures. Les anomalies devraient être levées prochainement lors du programme d'harmonisation des cartes géologiques du département du Tarn (2011).

Les cartes harmonisées du Lot et de l'Aveyron, ainsi que les 15 cartes géologiques du Tarn ont été assemblées afin de se doter d'une carte vectorisée des formations de socle sur l'ensemble de la zone d'étude (cf. Illustration 48). Cette carte est constituée de 22 965 polygones.

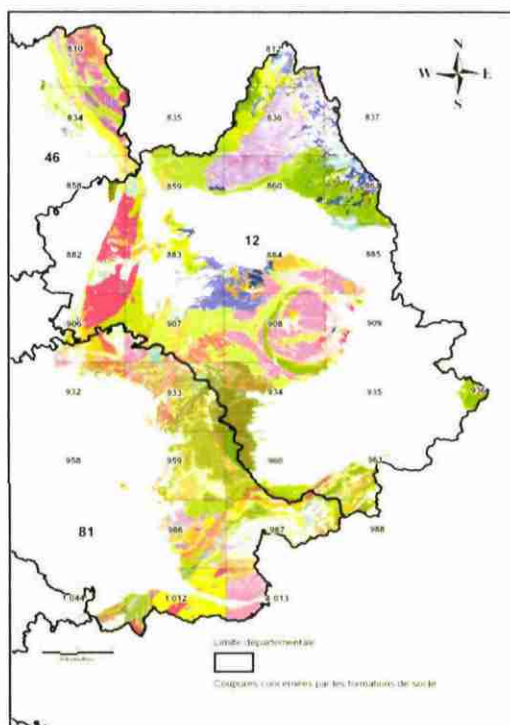


Illustration 48 - Carte des formations de socle dans le Massif Central en Midi-Pyrénées.

6.1.2. Informations issues des notices géologiques

Comme indiqué dans les § 3.1 et § 3.2, la composition pétrographique d'une roche est le facteur contrôlant l'aptitude d'une roche à développer un aquifère d'altération avec des caractéristiques favorables sur le plan hydrogéologique. Le développement d'un profil d'altération et notamment d'un horizon fissuré étant étroitement lié à la présence de minéraux gonflants (principalement la biotite).

Afin d'identifier les formations susceptibles de présenter une porosité de fracture par processus d'altération, un traitement des données pétrographiques a été réalisée à partir des 33 notices des cartes géologiques concernées par la zone d'étude.

Chaque polygone de la carte vectorisée a été codé selon une échelle de favorabilité sur le plan hydrogéologique (Illustration 49) d'après les critères mentionnés au § 3.2.

CODE	LEGENDE
0	Formation non concernée par la classification (formations sédimentaires, formations superficielles, filons)
1	Défavorable
2	Peu favorable
3	Favorable
4	Très favorable
5	Extrêmement favorable
6	Formation karstique d'âge ante-permien

Illustration 49 - Codage des formations géologiques en fonction de leur composition pétrographique.

Les formations sédimentaires telles que les alluvions, formations superficielles et bassins sédimentaires, ont été codées 0, et donc n'apparaissent pas sur la cartographie, leur fonctionnement hydrogéologique étant différent de celui des aquifères de socle, objet de la présente étude. Toutefois, ces formations géologiques affleurantes, recouvrent des zones de socle pouvant avoir une potentialité aquifère intéressante. Ces entités sédimentaires, souvent de faibles superficies, devront faire l'objet d'une reconnaissance particulière, et donc intégrées à la prospection hydrogéologique dans le socle, dans l'optique de recherche d'eau souterraine sur les secteurs de socle qui auront été classés comme favorables. Les filons ont également été codés 0 en raison de leur faible superficie. Généralement peu épais, ils sont le plus souvent soumis aux contraintes du socle encaissant (développement d'une fissuration horizontale dans les granites, et parallèle aux épontes dans les roches foliées).

Les formations carbonatées d'âge ante-permien désignées comme « formation karstique d'âge ante-permien » ont été codées 6. Ces formations sont considérées en tant que roche de socle, dans la nomenclature appliquée au présent programme, car elles sont datées anté-permienne. Mais de par leur composition minéralogique (présence de carbonates), elles développent lors de l'altération des phénomènes de karstification et ne sont donc pas dotées d'une porosité de fracture. Leur étude plus poussée devra s'imposer pour intégrer les éventuelles ressources complémentaires disponibles dans ces formations.

Toutes les informations collectées dans les notices des cartes géologiques ont été inventoriées, et bancarisées dans une banque de données (cf. Annexe 6) qui s'organise de la façon suivante :

- « **MI-PRINX** » : numéros d'incrémentation identifiant chaque polygone de la zone d'étude
- « **CARTE** » : numéro de la carte géologique à 1/50 000 concernée par le polygone.
- « **NOTATION** » : code donné à la formation géologique dans les cartes géologiques vectorisées, selon la nomenclature nationale.
- « **DESCRIPTION** » : désignation des formations géologiques dans les cartes géologiques vectorisées, selon la nomenclature nationale.
- « **Description minéralogique** » : informations minéralogiques issues des notices des cartes géologiques.
- « **Commentaire total** » : informations pétrographiques issues des notices des cartes géologiques.
- « **Note de l'altérabilité** » : Note donnée, à partir des informations des colonnes précédentes, sur la favorabilité théorique de la formation concernée à développer une porosité de fracture.

Une fois les informations recueillies pour chaque formation géologique, les 22 965 polygones constituant la zone d'étude ont été notés. Ce sont ces informations qui sont confrontées aux observations de terrain

6.2. CAMPAGNE DE TERRAIN

6.2.1. Présentation de la campagne

Une reconnaissance de terrain a été réalisée durant six semaines. L'objectif principal de cette mission était d'étudier l'histoire géologique et géomorphologique de la zone d'étude. La synthèse de ce travail a eu pour but de délimiter et de dater les paléosurfaces préservées dans le paysage, et donc de définir les zones favorables à la préservation des profils d'altération.

L'équipe qui a procédé aux reconnaissances de terrain était constituée de deux spécialistes du socle (un géologue et un hydrogéologue). La campagne de terrain s'est déroulée de la façon suivante :

- Semaine 1 : du 04/08/2009 au 07/08/2009,
- Semaine 2 : du 29/09/2009 au 01/10/2009,
- Semaine 3 : du 26/10/2009 au 30/10/2009,
- Semaine 4 : du 03/11/2009 au 06/11/2009,
- Semaine 5 : du 20/04/2009 au 23/04/2009,
- Semaine 6 : du 27/04/2010 au 30/04/2010.

La zone d'étude a été couverte selon un cheminement préétabli et adapté en fonction des observations du moment. L'ensemble des formations géologiques représentatives en termes de superficie ont été reconnu à travers des points représentatifs en fonction de leur accessibilité (difficultés de se déplacer), des affleurements disponibles, et de l'histoire géologique et géomorphologique du secteur.

Deux types d'observations ont alors été effectués sur les formations sélectionnées :

- des observations géomorphologique pour identifier les paléosurfaces de la zone d'étude ;
- des observations pétrographique afin de contrôler, abonder, rectifier si besoin les informations issues de la notation de favorabilité à partir des notices géologiques.

La compréhension du paysage et notamment du contexte géomorphologique local a nécessité de cheminer en dehors de la zone d'étude, à la recherche d'indices permettant de dater l'âge des surfaces d'érosion des formations de socle concernées.

Les principaux arrêts effectués durant la campagne de terrain sont présentés dans l'illustration 50.

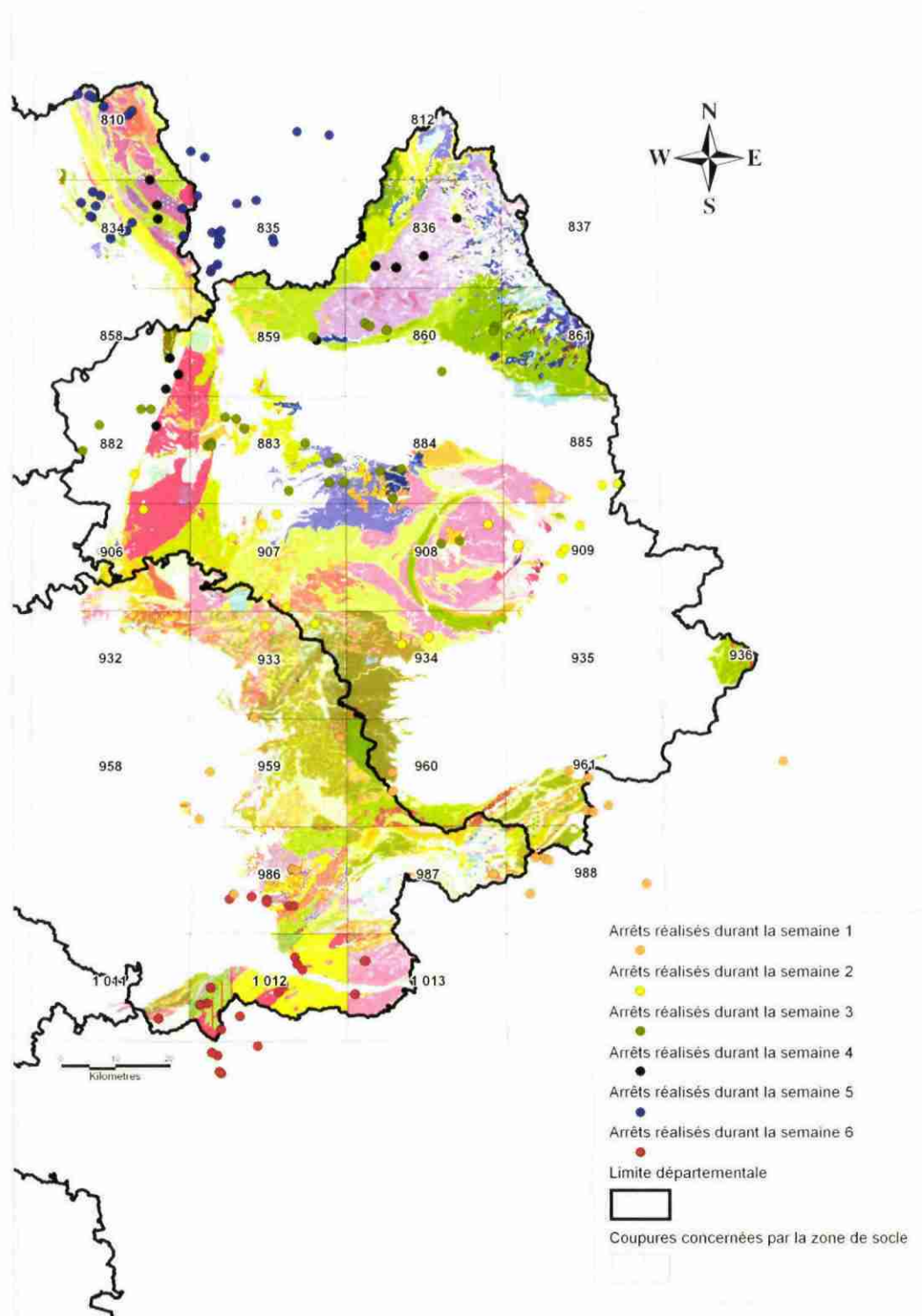


Illustration 50 - Localisation des arrêts effectués lors de la campagne de terrain.

Plusieurs actions ont été menées pour garder une traçabilité de l'important travail d'analyse et d'interprétation réalisé lors des six semaines de terrain.

Journées de sensibilisation sur le terrain

Deux journées de sensibilisation aux nouveaux concepts d'aquifère d'altération et aux nouvelles technologies sur le fonctionnement des aquifères de socle ont été effectuées dans le cadre de ce projet : le 1^{er} novembre 2009 dans le département du Lot, et le 15 décembre 2009 dans le département de l'Aveyron. Les conseils généraux susceptibles d'être intéressés en tant qu'acteurs locaux dans le domaine de l'eau, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, des hydrogéologues, les services de l'état et des universitaires ont pu être sensibilisés à cette nouvelle méthodologie.

Elaboration d'un carnet de terrain

Tout au long de la campagne de terrain, un carnet de terrain a été réalisé. Ce travail a eu pour but de retranscrire la réflexion et les différentes observations effectuées sur le terrain. Ce document présente l'étude des affleurements et des observations géomorphologiques sélectionnées afin d'identifier le potentiel hydrogéologique des formations de socle. Il est disponible sur support informatique et une réflexion sera menée pour permettre une diffusion ciblée.

Les affleurements y sont présentés de la façon suivante :

- la situation de l'affleurement sur la carte géologique au 1/50 000 correspondante ;
- les coordonnées de l'affleurement avec indication de l'altitude ;
- une description de la formation géologique visible l'affleurement ;
- la situation de l'affleurement dans le profil d'altération ;
- les remarques spécifiques à l'affleurement.

Les observations géomorphologiques sont également décrites avec :

- les coordonnées du point d'observation et son altitude ;
- une photo du paysage ;
- un extrait du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone observée ;
- un schéma explicatif du secteur étudié ;
- les remarques spécifiques aux observations géomorphologiques.

Lithothèque

Une lithothèque (cf. Illustration 51) a été mise en place au sein même du SGR Midi-Pyrénées afin d'impliquer et sensibiliser les géologues et hydrogéologues qui seraient intéressés aux nouveaux concepts d'aquifères de socle.



Illustration 51 - Lithothèque mise en place au sein du SGR Midi-Pyrénées.

6.2.2. Argumentaire géomorphologique

Introduction

L'essentiel des campagnes de terrain a été consacré à la recherche d'éléments d'interprétation de la géomorphologie et de datation de l'altération. Il est présenté ci-après, par département, les grandes lignes des résultats obtenus, avec l'argumentaire et les incertitudes.

Département du Lot

L'essentiel des affleurements de socle du département du Lot concerne les cartes à 1/50 000 Saint-Céré et Lacapelle-Marival. Les reconnaissances de terrain ont été étendues aux cartes voisines de Maurs et d'Aurillac (hors zone d'étude) afin de mieux contraindre les interprétations.

Le long de la bordure sédimentaire du Quercy entre Saint-Céré et Figeac, les premiers dépôts en contact sur les micaschistes du socle correspondent aux grès du Trias ; cette discordance est bien exposée sur la feuille Lacapelle Marival, où le contact est incliné de 3 à 4° vers le sud-ouest. L'observation des contacts montre la présence de 15 à 20 m de saprolite surmontant l'horizon fissuré. La surface de contact, dégagée par l'érosion, dessine par intersection avec les interfluves des chevrons caractéristiques inclinés au SW. La zone d'emprise de cette surface infra-triasique s'étend sur une distance de 3 à 5 km depuis la bordure sédimentaire. Elle est recoupée vers 600 m d'altitude par une surface plus récente restée subhorizontale, attribuable soit à la surface éocène, soit à la surface infracrétacée retouchée à l'Eocène.

La surface infratriasique recoupe en discordance les dépôts stéphanien (volcanites et sédiments) qui forment localement des massifs de dimensions significatives (3 x 9 km, secteur de Saint-Perdoux) partiellement préservés à la faveur de failles NW-SE. Là où

les sédiments stéphaniens sont discordants sur les micaschistes, il est observé des vestiges d'un profil latéritique partiellement érodé.

Les plateaux situés dans la partie sud-est de la feuille Lacapelle-Marival et dans la partie ouest de la feuille Maurs peuvent être attribués à la surface éocène, car ils sont recouverts, au-dessus d'un profil d'altération épais (plus de 20 m de saprolite conservée), par une série sédimentaire dont la partie supérieure, carbonatée, est datée du Priabonien. L'altitude de la surface éocène s'abaisse progressivement à l'approche du graben de Maurs, depuis 500-600 m jusqu'à moins de 250 m au niveau du graben.

Dans la partie est et nord-est de la feuille de Maurs, ainsi que dans la partie sud de la feuille Aurillac, la surface éocène se raccorde par un talus plus ou moins bien marqué d'environ 200 à 250 m de dénivellation à une surface plus haute interprétée comme la surface d'érosion d'âge infra-crétacé. Cette surface est l'équivalent de la surface infra-crétacée formant le plateau du Millevaches dans le Limousin. Elle se prolonge vers l'est en direction de l'Aubrac.

Département de l'Aveyron

Sur la feuille Decazeville, le plateau micaschisteux qui forme la limite nord du bassin stéphano-permien présente un affleurement remarquable, la cuirasse des Fargues. Il s'agit d'une cuirasse latéritique située vers 630 m d'altitude, à faciès bréchique, reposant directement sur des micaschistes sans intercalation de saprolite. Elle domine une paléosurface d'altitude plus basse (500-560 m) qui se développe au nord et au nord-ouest, et qui est scellée par des sédiments éocènes (Illustration 52 et Illustration 53). Cette surface est en fait une surface composite, où sont confondues dans un plan voisin surface infra-liasique et surface éocène.

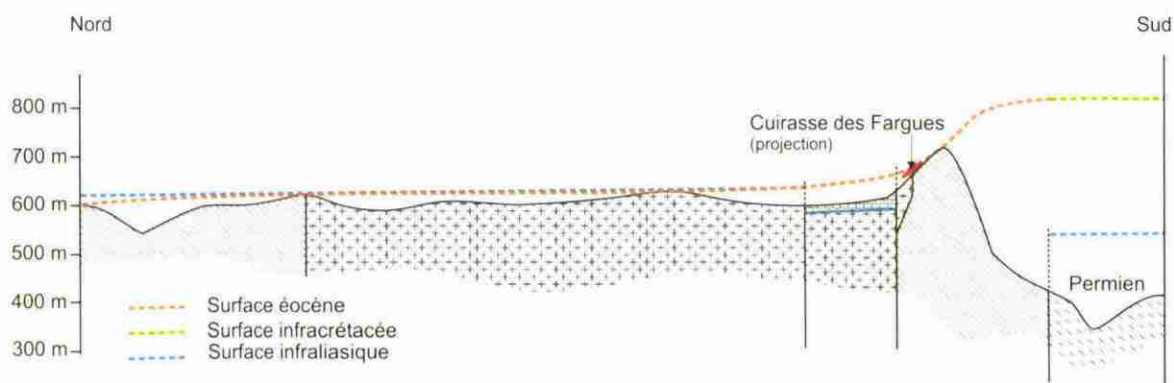


Illustration 52 - Coupe de la cuirasse des Fargues (feuille Decazeville).

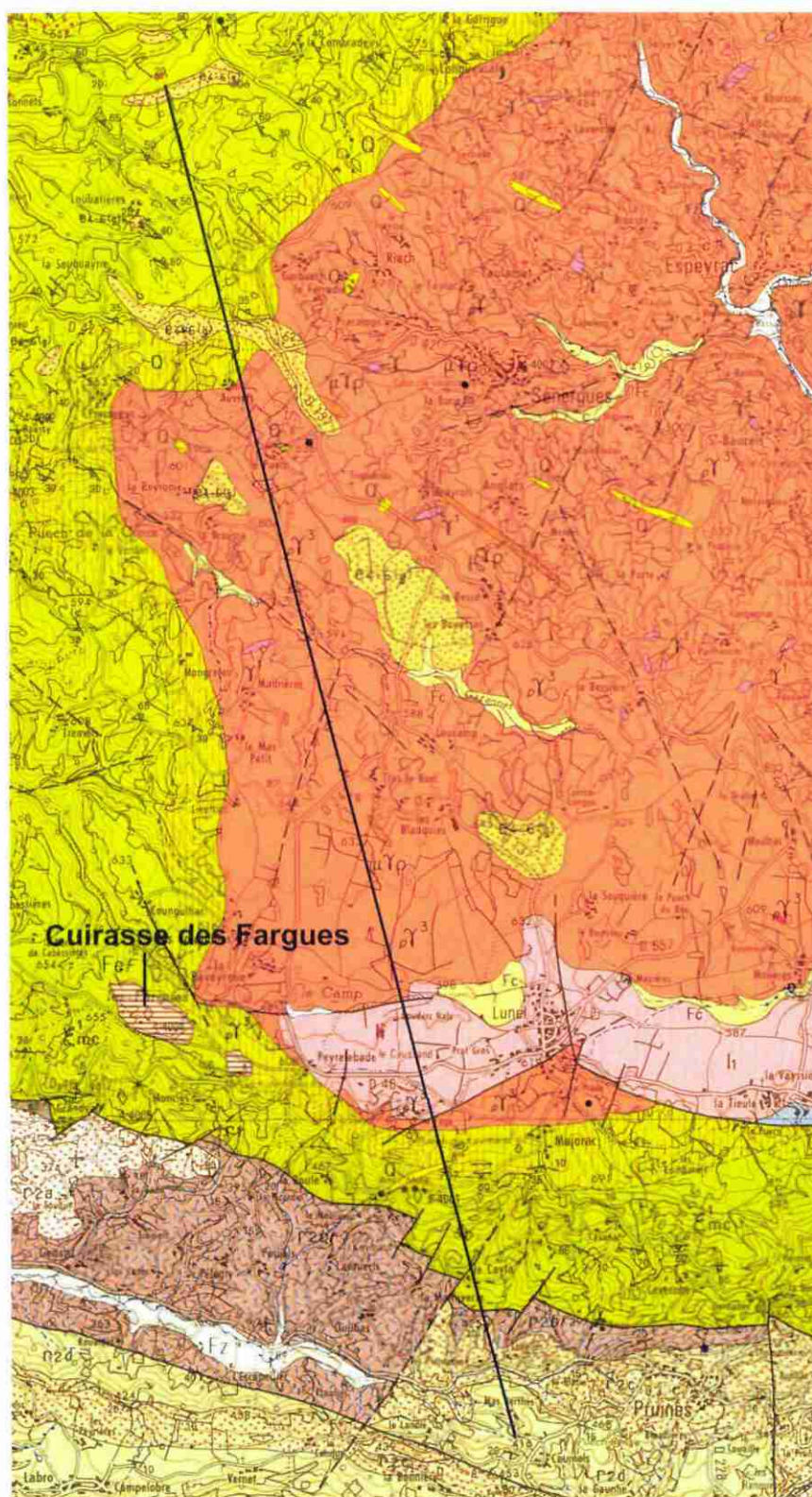


Illustration 53 - Position de la coupe de l'illustration 52 (carte Decazeville).

Les cuirasses bréchiques reposant sur de la roche non altérée correspondent généralement à des cuirasses de pente, développées sur des talus de raccordement entre deux surfaces étagées : ce type de configuration est courant et a été abondamment décrit en Afrique de l'Ouest, notamment au Burkina-Faso.

La configuration géométrique de la surface des Fargues montre qu'elle est située sur le talus de raccordement entre la surface éocène, développée au nord vers 550-600 m, et la surface infracrétacée, développée au sud vers 800 m d'altitude à l'emplacement du bassin de Decazeville, et aujourd'hui totalement détruite par l'érosion. La surface infracrétacée peut être suivie plus au sud-est, sur la carte Séverac-le-Château et sur le plateau du Larzac, où elle forme le sommet du plateau calcaire vers 800 m d'altitude. Elle y est marquée par des dolomitisations suivies par des silicifications caractéristiques (altérations additives liées à l'émersion crétacée). Les dolomies silicifiées sont ensuite piégées dans des karsts à bauxite, eux-mêmes scellés par du Crétacé terminal marin (feuilles Le Caylar et Nant).

A l'est du secteur des Fargues, le long de la bordure nord du détroit de Rodez (cartes Espalion, Saint-Geniès-d'Olt et Séverac-le-Château), les premiers dépôts sédimentaires reposant sur le socle d'Aubrac sont généralement d'âge permien ou triasique (localement carbonifère) ; le contact discordant a un pendage sud compris entre 5 et 15 degrés. Le Lias est en général concordant sur le Trias. La surface de contact socle-couverture forme en recoupant la topographie des plans inclinés au sud caractéristique. Cette surface est recoupée vers 750 à 800 m d'altitude par une surface d'érosion subhorizontale qui se raccorde à la surface du Larzac, et que nous pouvons donc interpréter comme la surface d'âge Crétacé inférieur. Cette surface infracrétacée forme le plateau de l'Aubrac. Dans le quart nord-ouest de la feuille Espalion, le plateau situé sur le granite d'Entraignes vers 675 m d'altitude est scellé par des dépôts sédimentaires notés « Oligocène indifférencié » (secteur de Campuac) : ce sont des arkoses à débris végétaux. Des faciès identiques ont été observés sur les cartes plus au sud (feuilles Rieupeyroux et Rodez) à la base de la série liasique, où ils sont attribués à l'Hettangien. Les dépôts notés en Oligocène sur le plateau de Campuac sont considérés comme liasiques, ce plateau représentant donc la surface infraliasique, fait confirmé par la présence de concrétions carbonatées au sommet des arènes granitiques dans ce secteur.

Au sud du détroit de Rodez, le Rouergue cristallin forme un plateau dont les altitudes oscillent entre 675 et 1 000 m. Il s'étend principalement sur les cartes Rieupeyroux, Rodez et Salles Curan. Sur la carte Rieupeyroux, Sur les cartes Rodez et Rieupeyroux, la paléosurface est scellée par des sédiments du Trias ou du Lias. On peut y observer les albitisations triasiques décrites par J.M. Schmitt (1986). Il y est également observé des silicifications (Recoules, sud-est de la feuille Rieupeyroux) interprétées comme des silcrêtes tertiaires par R. Simon-Coinçon (1989). Ces silicifications ne sont pas des silcrêtes à coiffes (caractéristiques des silicifications fini-éocènes) : ce sont des cherts roux en très grosses dalles, qui montrent une trame de dolomie assez fine antérieure à la silicification ; ces faciès sont identiques aux silicifications des calcaires jurassiques dans le plan de la surface infracrétacée, comme cela est observé sur le plateau des Causses, mais aussi dans le Poitou, dans le Berry, en Normandie et en Lorraine, où ils sont systématiquement associés à la surface

infracrétacée. Ce même plateau du Rouergue porte également des dépôts éocènes datés (feuilles Rieupeyroux et Rodez). Plus à l'est, sur la feuille Salles Curan, les seuls sédiments reposant sur le socle sont des grès triasiques. Donc, en synthétisant l'ensemble des observations de terrain, il peut être considéré que le plateau du Rouergue cristallin forme une surface composite, polygénique, dans laquelle se trouve, à peu près dans le même plan, les surfaces infratriasique, infraliasique, infracrétacée et éocène. Comme l'horizon fissuré du profil infratriasique a été colmaté par des albitisations triasiques puis par des dolomitisations infraliasiques, il est peu probable que les altérations crétacée et éocène aient réactivé les propriétés aquifères de cet horizon, notamment parce que tous les minéraux gonflants avaient déjà été hydratés avant le Lias. En conclusion, tout ce secteur peut être interprété comme « paléosurface anté-liasique ».

Le revers sud du Rouergue cristallin forme un glacis incliné au sud (feuilles Najac, Naucelle, Carmaux, Requista). Ce glacis est scellé par des dépôts tertiaires datés : il s'agit de la paléosurface éocène. La haute surface du Rouergue, façonnée entre la période pré-triasique et le Crétacé inférieur, se termine en bordure nord de la feuille Naucelle où elle est soulignée par des calcaires liasiques silicifiés (ouest de Gramond, « croûtes silicifiées »). Cette haute surface est recoupée par la surface éocène inclinée vers le SSW et recouverte par les « argiles à graviers » éocènes puis par des calcaires lacustres de l'Eocène supérieur. Ce recoupement en biseau de la haute surface du Rouergue par la surface éocène peut être suivi vers le sud-est sur les feuilles Salles Curan et Réquista.

Sur les feuilles Réquista et Saint-Sernin-sur-Rance, en bordure du Permien du bassin de Saint-Affrique, il est retrouvé la surface anté-permienne inclinée vers le centre du bassin. Dans la partie nord de la feuille Réquista, cette surface est recoupée par la haute surface du Rouergue, d'âge Trias à Crétacé inférieur.

En bordure est du département de l'Aveyron sur la feuille de Nant, le socle hercynien réapparaît à l'est des Causses : c'est la bordure occidentale des Cévennes. Les dépôts sédimentaires scellant le socle sont d'âge triasique : il s'agit de la paléosurface infratriasique, inclinée vers l'ouest et passant sous les Causses.

Département du Tarn

Sur le pourtour des limites nord et est du département (feuilles Najac, Naucelles, Carmaux, Réalmont, Castres), il est retrouvé la surface éocène formant un glacis orienté vers le centre d'un bassin qui se situerait au niveau de la feuille Gaillac. Cette surface est scellée par des dépôts tertiaires de plus en plus épais vers l'aval. En limite sud de la feuille Naucelle et en limite nord de la feuille Carmaux, ce glacis éocène est dominé par deux buttes résiduelles de socle interprétées ici comme des reliques de la paléosurface infra crétacée remaniée à l'Eocène.

Sur la feuille Castres, le massif granitique du Sidobre montre un profil d'altération tronqué, caractérisé par une épaisseur réduite d'arènes reposant sur la partie profonde de l'horizon fissuré : les nombreux affleurements visités grâce aux exploitations de granite pour pierres ornementales montrent que les joints horizontaux sont très

espacés (de l'ordre de 5 m entre deux joints) même dans la partie culminante du massif ; ceci est à priori contradictoire avec le fait que la roche, de composition granodioritique, est très altérable. Le massif du Sidobre forme une butte culminant vers 600 à 700 m ; vers l'ouest il passe à un talus de raccordement avec une surface basse (altitudes comprises entre 250 et 450 m, inclinée vers l'ouest), scellée par les sédiments éocènes et qui constitue le prolongement vers le sud du glacis décrit plus haut. Le Massif du Sidobre est considéré comme une relique de la surface infracrétacée dont la partie supérieure (arènes) a été décapée par l'érosion à une période récente (probablement à partir du Miocène). La surface infracrétacée du Sidobre se prolonge vers le nord-est sur les feuilles Saint Sernin et Lacau, où elle forme un plateau dont les altitudes sont comprises entre 675 et 930 m, et qui se raccorde à la surface d'érosion formant le plateau des Grands Causses. Cette surface recoupe la surface infratriasique inclinée vers l'est à l'approche du plateau des Causses (feuille Camarès).

En Montagne Noire, dans le massif de l'Agout (au nord du sillon de Mazamet), il est identifié une très haute surface (feuille Lacau, altitudes comprises entre 1 000 et 1 150 m) qui serait l'équivalent plus au nord-est (feuille Camarès) de la surface infratriasique. En contrebas de cette très haute surface il est identifié une autre surface, entre 750 et 900 m, légèrement inclinée vers le sud, qui se développe dans la partie ouest du massif. Cette surface intermédiaire est interprétée comme étant d'âge Crétacé inférieur, se corrélant avec la surface du Sidobre située au NW de la faille de Lacau. Enfin, le revers sud du massif de l'Agout est occupé par la surface éocène, basculée au sud, et qui forme le soubassement des sédiments tertiaires du bassin de Mazamet.

Au sud de la faille de Mazamet, dans le Massif de Nore, les 3 entités précédentes sont retrouvées : une très haute surface, entre 800 et 1 100 m, attribuée à la surface infratriasique, très dégradée par l'érosion, surmontant une surface intermédiaire, située vers 70 à 800 m, attribuée à la surface infracrétacée, et une surface éocène, entre 600 et 700 m, qui se prolonge sur le revers sud du massif par une surface d'érosion non ou peu altérée, scellée par des dépôts pélocènes à intercalations marines.

Les fortes altitudes observées sur la bordure nord des massifs de l'Agout et de Nore résultent du soulèvement de ces massifs par failles inverses (failles de Lacau et de Mazamet, cette dernière chevauchante), l'essentiel de la déformation étant probablement d'âge fini-Eocène moyen (Bartonien), sans exclure une réactivation récente (Miocène à Quaternaire) de ces accidents. Compte tenu de l'absence de couverture sédimentaire datable sur les deux massifs constituant la Montagne Noire, l'attribution de la très haute surface à la surface infratriasique et de la surface intermédiaire à la surface infracrétacée sont hypothétiques, mais en l'état actuel des connaissances c'est l'interprétation qui apparaît la plus plausible.

7. Potentialités aquifères des formations de socle

7.1.1. Carte de l'altérabilité des formations du socle

Les potentialités aquifères théoriques d'une formation géologique sont liées à l'abondance des minéraux gonflants susceptibles de générer un horizon fissuré lors de l'altération : la première couche d'information à prendre en compte est donc une carte de l'altérabilité. Cette carte d'altérabilité a été établie en codant chaque formation géologique en fonction de sa composition minéralogique. En l'absence de carte géologique harmonisée à 1/50 000 de l'ensemble de la zone d'étude, il a été utilisé les fichiers vectorisés des cartes géologiques à 1/50 000, ce qui explique les problèmes de raccords entre cartes voisines. Seules les formations du socle antépermien ont été prises en compte, en excluant les formations sédimentaires et volcaniques carbonifères.

L'échelle de favorabilité retenue est présentée sur l'illustration 54 ; elle caractérise la capacité plus ou moins grande des formations de socle à développer un aquifère d'altération à partir de leur composition minéralogique :

Altérabilité	Légende
0	Formation non concernée par la classification (formations sédimentaires, formations superficielles, coulées volcaniques)
1	Défavorable (roches hypovolcaniques acides, microgranites, quartzites, roches sans micas, leptynites)
2	Peu favorable (amphibolites, leucogranites à muscovite seule, granites à grain fin)
3	Favorable (granites à 2 micas, schistes, gneiss leucocrates)
4	Très favorable (granites à biotite, micaschistes et gneiss à biotite)
5	Extrêmement favorable (diorites, granodiorites)
6	Formation carbonatée paléozoïque

Illustration 54 - Codage de l'altérabilité des formations géologiques.

La carte résultante est présentée sur la planche hors texte 2 et dans l'illustration 55.

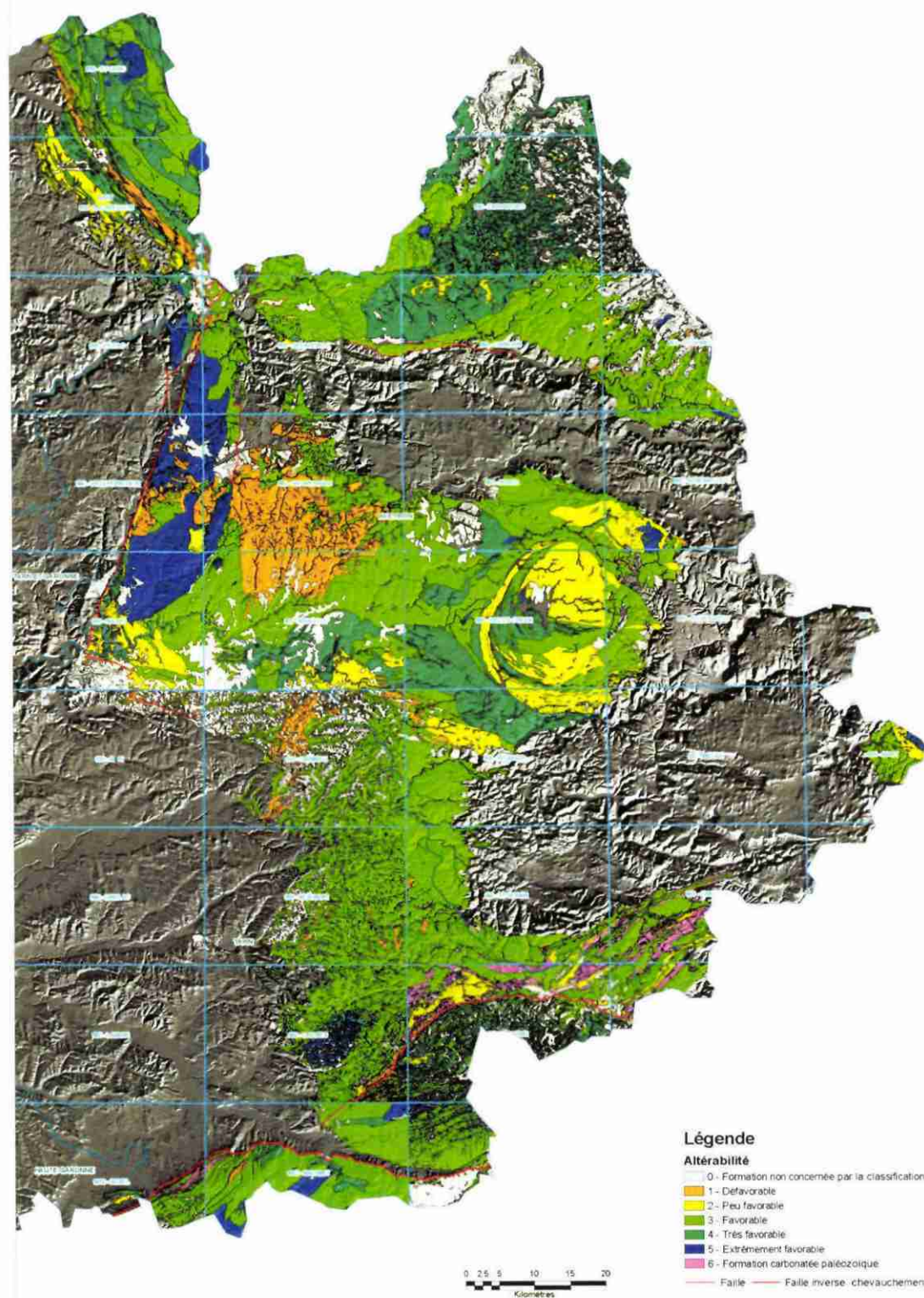


Illustration 55 - Carte de l'altérabilité (d'après la minéralogie)
(cf. planche hors texte 2 à 1/250 000).

Les formations favorables, très favorables et extrêmement favorables occupent la majeure partie de la zone étudiée (environ 64 %). Les superficies occupées par chaque classe d'altérabilité sont présentées dans l'illustration 56.

Altérabilité	Légende	Superficie totale (km ²)	Superficie totale (%)
0	Formation non concernée par la classification (formations sédimentaires, formations superficielles, coulées volcaniques)	1557,52	19,61
1	Défavorable (roches hypovolcaniques acides, microgranites, quartzites, roches sans micas, leptynites)	521,55	6,57
2	Peu favorable (amphibolites, leucogranites à muscovite seule, granites à grain fin)	657,6	8,28
3	Favorable (granites à 2 micas, schistes, gneiss leucocrates)	3511,94	44,21
4	Très favorable (granites à biotite, micaschistes et gneiss à biotite)	1192,86	15,02
5	Extrêmement favorable (diorites, granodiorites)	388,34	4,89
6	Formation carbonatée paléozoïque	113,84	1,43
Total		7943,65	100,00

Illustration 56 - Superficies occupées par chaque classe d'altérabilité.

7.1.2. Esquisse géomorphologique

La réalisation de la carte de l'âge de l'altération a nécessité une longue campagne de terrain ainsi que la compilation de l'ensemble des cartes géologiques à 1/50 000, en s'appuyant sur l'étude et l'interprétation du modèle numérique de terrain au pas de 50 m. La description des différentes paléosurfaces a été présentée dans le chapitre 4.3 (contexte géomorphologique) et l'argumentaire pour l'interprétation de l'âge des paléosurfaces a été présenté dans le chapitre 6.2.2 (campagne de terrain, argumentaire géomorphologique).

Bien que six paléosurfaces principales aient été identifiées dans la zone d'étude (paléosurfaces carbonifère, infrapermienne, infratriasique, infraliasique, infracrétacée, éocène), seulement trois ont été représentées sur la carte ; en effet, les paléosurfaces antérieures au Lias ont été regroupées en un seul caisson car elles ont toutes subi une importante diagenèse d'enfouissement ayant abouti au colmatage de la porosité de l'horizon fissuré, alors que les paléosurfaces infracrétacée et éocène ont normalement conservé une porosité ouverte.

Dans les cas où l'une des surfaces récentes (infracrétacée ou éocène) se trouve dans le même plan qu'une surface plus ancienne (exemple d'une partie du Rouergue cristallin), seule la surface ancienne a été représentée sur la carte, car l'altération soustractive appliquée à une roche déjà altérée ne peut pas recréer un réseau de fissures, les minéraux gonflants de la roche initiale ayant déjà réagi au contact de l'eau lors de la première phase d'altération.

La carte des paléosurfaces est présentée sur la planche hors-texte 3 et sur l'illustration 9.

7.1.3. Potentiel aquifère des formations de socle d'après les critères pétrographiques et géomorphologiques

La carte du potentiel aquifère des formations de socle du Massif central a été réalisée en croisant la carte d'altérabilité (§ 7.1.1. et planche hors texte 2) et la carte de l'âge de l'altération (§ 7.1.2. et planche hors texte 3), en appliquant les règles suivantes :

- pour les zones où l'âge de l'altération est antérieur au Lias, le code de favorabilité finale prend la valeur 1 (défavorable) sauf quand le code d'altérabilité est égal à 6 (formations carbonatées), où la valeur 6 est prise ;
- pour les zones où l'âge de l'altération est compris entre le Crétacé inférieur et l'Eocène, le code de favorabilité finale prend la valeur du code d'altérabilité.

Le codage des formations géologiques pour la favorabilité finale est le même que celui de l'altérabilité. La carte du potentiel aquifère est présentée sur la planche hors-texte 4 et sur l'illustration 57.

Les superficies occupées pour chaque code de favorabilité sont présentées sur l'illustration 58.

Les formations favorables, très favorables et extrêmement favorables occupent 37,32 % de la zone étudiée, soit 2 777,11 km². Cette faible proportion comparée à celle occupée par les mêmes classes dans la carte d'altérabilité (Illustration 56) résulte de la grande extension des paléosurfaces dont l'altération est attribuée à la période anté-liasique. La légère différence de superficie totale entre l'illustration 56 et l'illustration 58 (respectivement 7 943,65 km² pour l'altérabilité et 7 440,92 km² pour la favorabilité) est due au fait que la carte d'altérabilité intégrait des formations sédimentaires hors zones de socle, qui ont été supprimées de la carte finale.

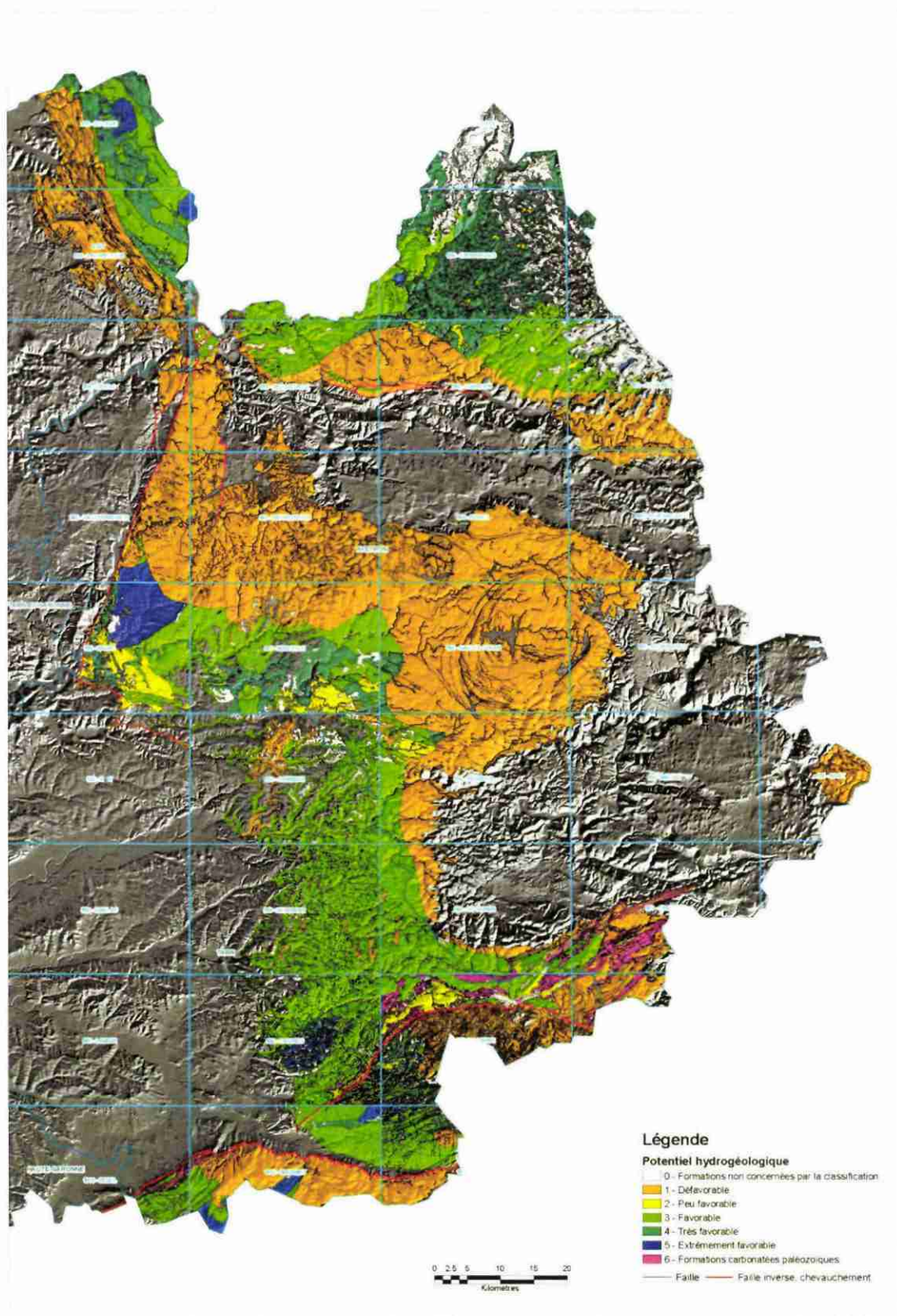


Illustration 57 - Potentiel aquifère (d'après l'altérabilité et l'âge de l'altération)
(cf. planche hors texte 4 à 1/250 000).

Favorabilité	Légende	Superficie (km ²)	Superficie (%)
0	Formation non concernée par la classification (formations sédimentaires, formations superficielles, coulées volcaniques)	816,38	10,97
1	Défavorable (roches hypovolcaniques acides, microgranites, quartzites, roches sans micas, leptynites)	3 517,81	47,28
2	Peu favorable (amphibolites, leucogranites à muscovite seule, granites à grain fin)	215,99	2,90
3	Favorable (granites à 2 micas, schistes, gneiss leucocrates)	1 941,02	26,09
4	Très favorable (granites à biotite, micaschistes et gneiss à biotite)	655,79	8,81
5	Extrêmement favorable (diorites, granodiorites)	180,30	2,42
6	Formation carbonatée paléozoïque	113,63	1,53
Total		7 440,92	100,00

Illustration 58 - Statistiques de la carte du potentiel aquifère.

7.1.4. Conclusion sur les potentialités aquifères

Préambules – Rappel des définitions

Une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau passe par une bonne connaissance des réserves disponibles dans les aquifères d'une région. A l'heure actuelle, si le fonctionnement de certains systèmes aquifères paraît bien connu, l'estimation de leur réserve en eau totale est un aspect peu développé. Cette quantification implique d'estimer à la fois :

- les volumes d'eau stockés dans les réservoirs en état moyen (ressource non renouvelable ou réserve aquifère),
- les flux d'écoulements souterrains moyens annuels (ressource renouvelable).

Le premier terme définit le volume d'eau total contenu dans un aquifère à un instant donné; son calcul repose sur la connaissance :

- de la géométrie du réservoir et en particulier son étendue et sa puissance,
- des coefficients d'emmagasinement (ou porosité efficace) et de leur distribution spatiale.

En toute rigueur, cette évaluation de la réserve globale des aquifères doit être entreprise à partir de la sommation des volumes d'eau calculés par zone homogène (ou lorsque des modèles mathématiques sont présents, par maille élémentaire) issue de l'interprétation des données structurales et de la connaissance des emmagasinelements (mesurés ou estimés).

L'estimation des flux souterrains, correspondant au second terme mentionné, est un élément essentiel de la connaissance des systèmes aquifères dont l'analyse permet de définir les ressources renouvelables libérables. Cette notion correspond au volume

maximal susceptible d'être prélevé dans l'aquifère, d'une part, sans puiser dans les réserves permanentes et d'autre part, en préservant l'équilibre des écosystèmes (contraintes ou objectifs de maintien de niveau d'eau, de la qualité chimique ou biologique).

Estimation de la réserve aquifère des formations de socle sur le secteur d'étude

Sur les 7 440 km² environ de socle cristallin affleurant du Massif central appartenant à la Région Midi-Pyrénées, environ 2 777 km² (37 %) peuvent être considérées comme favorables, très favorables ou extrêmement favorables vis-à-vis de leur capacité à développer des aquifères d'altération.

Afin de tenter de quantifier grossièrement et en grand les réserves en eau souterraine en état moyen contenues dans les formations de socle sur le secteur « Massif Central » de la région de Midi-Pyrénées, il est proposé à titre indicatif une première estimation basée sur l'expérience acquise à travers le monde (Corée du Sud, Guyane, France, et notamment en Inde dans le cadre des activités R&D du CEFIRE [CEntre Franco-Indien de Recherche sur les Eaux Souterraines] entre 2002 et 2008 - liste des publications sur le site : <http://www.ifcgr.net/>).

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- a) Si un aquifère d'altération dans le socle (altérites et socle fissuré), lorsqu'il est présent en totalité (non tronqué par l'érosion par exemple), est susceptible de se développer jusqu'à des profondeurs importantes (80 m voire plus), il est admis et démontré que les dix premiers mètres de socle fissuré fournissent généralement la quasi-totalité du débit en forage. La puissance aquifère « utile » retenue dans le présent contexte est ainsi estimée à 10 m. L'aquifère fissuré est considéré dans cette hypothèse comme totalement saturé.
- b) Les calculs de bilans hydrogéologiques effectués par la méthode de DWTF (Double Water Table Fluctuation) montrent que la porosité efficace dans les aquifères d'altération du socle varie généralement entre 1,5 et 4 %. Dans le cas présent et au vu des formations en présence (majoritairement schistes et micaschistes, gneiss et granite), une porosité moyenne de 2 % est retenue et semble réaliste.
- c) Seules les formations de socle affleurantes considérées comme favorables, très favorables ou extrêmement favorables vis-à-vis de leur capacité à développer des aquifères d'altération, soit environ 2 777 km², ont été retenues. Les formations considérées comme peu ou pas favorables sont jugées peu à pas aquifères.

Dans ces conditions, la réserve aquifère est estimée à 550 M de m³ sur la zone d'étude. Cette valeur théorique est bien évidemment fournie à titre indicatif et devra être affinée lors des programmes de mises en exploitation des secteurs à enjeux (vérification de la porosité locale par entité géologique, configuration géométrique de l'aquifère, etc.). Il faut y ajouter les 113,63 km² de formations carbonatées paléozoïques karstifiables qui sont susceptibles de proposer également une ressource en eau souterraine d'intérêt. Cette réserve aquifère n'est pas proprement dit une ressource directement disponible (ou ressource renouvelable), mais plutôt une

ressource susceptible d'être exploitée en partie par des forages lorsque les conditions hydrogéologiques le permettent.

Cette faible proportion relative, comparativement à la région Limousin où la même méthode a été appliquée (les formations favorables, très favorables et extrêmement favorables y représentent 74 % de la superficie), résulte de la très grande extension, dans la zone d'étude, des paléosurfaces anciennes (altération antérieure au Lias). Ce résultat doit toutefois être tempéré par l'incertitude sur l'âge de l'altération liée à l'absence de dépôts identifiables permettant de dater les paléosurfaces dans certains secteurs, notamment en Montagne Noire et dans la partie orientale du Rouergue cristallin. En effet, la carte des prélèvements en eau souterraine dans ces derniers secteurs incite à prendre en considération un potentiel aquifère local non négligeable qu'il s'agira d'étudier plus finement en fonction des enjeux identifiés.

7.1.5. Discussions et perspectives

La carte des potentialités aquifères établie dans la présente étude avec une vision régionale permet de mieux guider les acteurs de l'eau vers des secteurs reconnus comme favorables, et où un besoin en eau souterraine est clairement identifié.

Les nouveaux concepts et nouvelles méthodologies de prospection hydrogéologique dans les formations de socle pourront ainsi être appliqués localement, en fonction des enjeux identifiés par les collectivités locales, sur des zones dont l'échelle est compatible à une gestion efficace de l'aquifère (50 km² à quelques centaines de km²). Elle permettra d'établir une cartographie de la réserve en eau souterraine, et in fine de proposer une rationalisation de la gestion de la ressource, les modalités de mobilisation et de protection de cette ressource, et de préciser la problématique « qualité ».

Ces actions, dont l'objectif principal est de déboucher sur l'implantation de un ou plusieurs forages d'exploitation, seront suivies par la mise en œuvre d'une gestion à l'échelle du bassin en s'appuyant sur les expériences connues. La nécessité dans un avenir proche de disposer d'un réseau de suivi quantitatif spécifique aux formations de socle s'impose donc.

Il est souhaitable auparavant de procéder au contrôle des hypothèses sur le colmatage des profils anciens d'altération qui déclassent en zone « défavorable » des formations pourtant aptes à développer un aquifère d'altération. Ce n'est qu'en se basant sur des certitudes que les schémas directeurs d'eau potable pourront considérer la ressource de socle comme une véritable alternative. La solution la plus adaptée est de réaliser une série de sondages RMP (Résonance Magnétique Protonique) sur les secteurs « défavorables », judicieusement implantés, afin d'évaluer les contrastes de porosité, et ainsi vérifier les hypothèses de colmatage des fissures (ou non). Ces contrôles permettraient entre autres de préciser la carte sur les secteurs dépourvus de données.

La cartographie quantitative de la réserve en eau souterraine est basée sur un nouveau concept d'aquifères de socle développé depuis 1997 au BRGM et validé dans le cadre de ses activités de Recherche & Développement. La méthodologie consiste à

modéliser la géométrie des différents horizons de l'aquifère de socle multicouche à partir des données de sondages et des observations de surface, en utilisant les méthodes de géostatistique. La modélisation de la piézométrie couplée à la réalisation de campagnes de sondages de Résonance Magnétique Protonique permet ainsi de calculer les teneurs en eau moyennes de chaque couche de l'aquifère (altérites meubles, horizon fissuré supérieur et inférieur) pour chacune des principales lithologies, et de calculer ensuite la lame d'eau contenue dans l'aquifère d'altération.

L'organigramme visant à quantifier la réserve en eau souterraine à une échelle locale est synthétisé dans l'illustration 59. Il présente les étapes successives à mettre en œuvre afin de permettre une implantation optimisée des forages d'exploitation (modélisation géométrique de l'aquifère d'altération multicouche, modélisation piézométrique puis quantification de la porosité moyenne de chacune des couches par la réalisation de sondages RMP, calcul de la réserve en eau souterraine). La reconnaissance de terrain et la cartographie des formations altéritiques permettent de mieux appréhender le degré de protection naturelle des formations superficielles vis-à-vis des contaminations de surface, et ainsi de mieux assurer la protection des captages qui auront été réalisés.

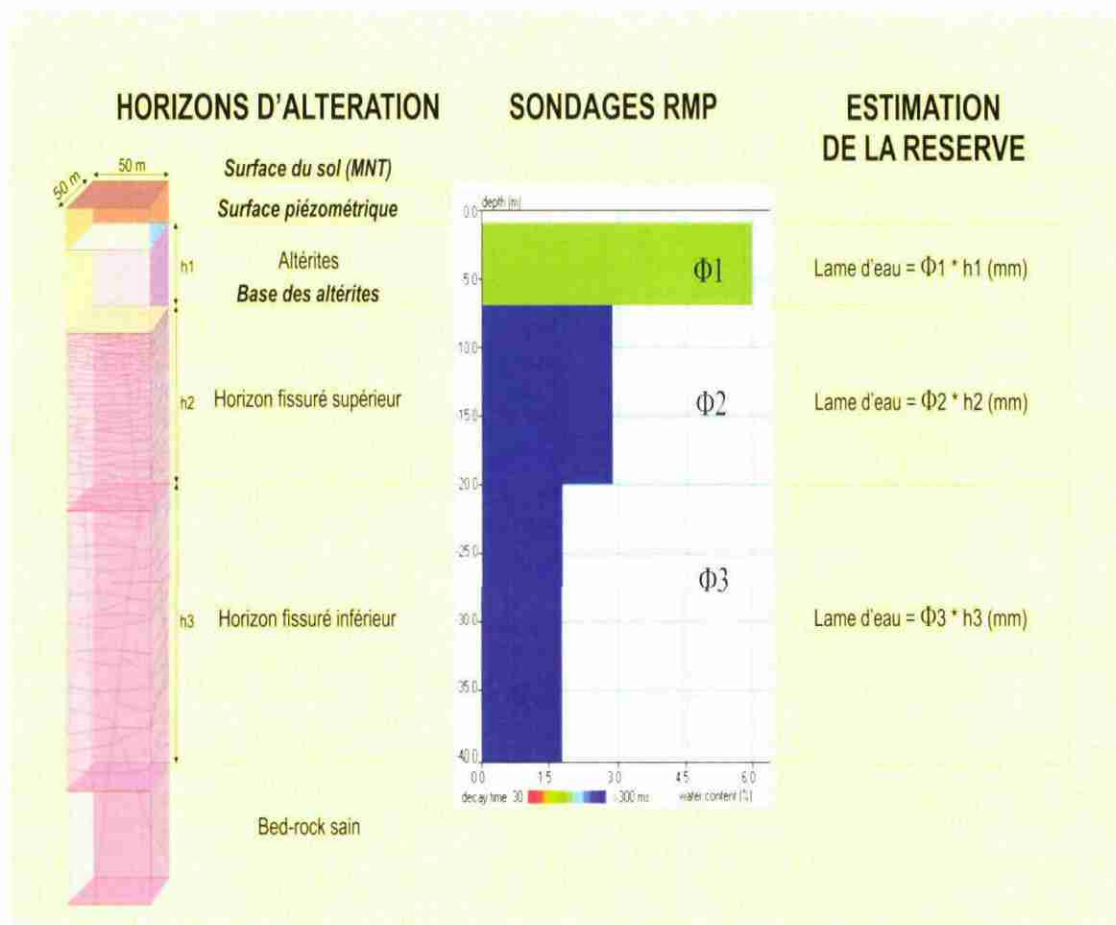


Illustration 59 - Organigramme de réalisation de la carte de réserve en eau souterraine.

8. Conclusion

Depuis une dizaine d'années de nouveaux concepts et de nouvelles technologies ont été mis en œuvre en France et à travers le monde pour améliorer la compréhension de la structure et du fonctionnement des aquifères de socle. Cette nouvelle approche a été appliquée, dans le cadre du présent programme, aux formations de socle de la région Midi-Pyrénées.

Elle permettra à moyen terme de :

- **rationaliser** la diminution du nombre de captages,
- **optimiser** le traitement et la reconquête des milieux,
- identifier des **ressources alternatives** en terme de quantité,
- **améliorer** la connaissance des potentialités aquifères des formations de socle pour permettre aux décideurs de mieux guider leurs actions.

Les données utiles nécessaires à la mise en œuvre de cette approche sont généralement peu abondantes, voire inexistantes. La première étape du travail consiste alors à acquérir les données par l'intermédiaire d'une campagne de terrain pour :

- établir une typologie des formations de socle en termes de potentialités aquifères,
- hiérarchiser ces formations en fonction de leur intérêt hydrogéologique

dans l'optique finale **d'assurer une gestion cohérente** des eaux souterraines contenues dans les formations de socle à l'échelle du bassin, au même titre que pour les formations alluviales ou karstiques.

Il s'agit d'une approche multi-échelle croisant l'approche à l'échelle du minéral avec une approche géomorphologique visant à la compréhension des paysages. En effet, les modifications physiques de la roche mère au cours de l'histoire géologique peuvent améliorer sensiblement les propriétés hydrodynamiques des aquifères de socle. Il est ainsi étudié :

- la capacité de la roche mère à acquérir une porosité de fissure à l'échelle minérale (facteur lithologique) ;
- la préservation des profils d'altération au cours du temps (facteurs géomorphologique et tectonique).

Cette première étape de travail a été menée, dans le cadre du programme pluriannuel ONGERE, module B « amélioration des connaissances des formations de socle en région Midi-Pyrénées », sur le secteur « Massif Central » (phase 1 : 2009-2010). La phase 2 sera réalisée en 2011-2012 sur l'ensemble des formations de la chaîne pyrénéenne en région Midi-Pyrénées. Ainsi l'ensemble des formations de socle de la région aura fait l'objet d'une classification qui repose sur la propension des formations

géologiques en présence à créer des aquifères d'altération et à développer un horizon fissuré suffisamment important en terme de porosité, perméabilité et épaisseur pour présenter un intérêt hydrogéologique. Dans le massif pyrénéen, cette classification sera étendue à toutes les formations en présence (fluvioglaciaires, karst principalement) afin de se doter d'une vision complète et cohérente dans un milieu montagneux complexe où l'histoire géologique et géomorphologique compartimente les formations aquifères d'intérêt.

Cette première étape qui a pour objet de restituer les résultats de la hiérarchisation à une échelle adaptée à la vision régionale (1/250 000), constitue l'étape préalable et indispensable aux décideurs pour mieux guider leurs futures actions dans la gestion des eaux souterraines. En effet, les secteurs définis comme favorable sur le plan hydrogéologique sont à considérer comme stratégiques vis-à-vis de l'alimentation en eau potable et peuvent constituer une réelle alternative et diversification par rapport à leur gestion actuelle.

Ainsi elle permettra de mieux guider le choix des décideurs sur la sélection des secteurs, à l'échelle de l'unité de gestion (50 à 200 km²) et en fonction des enjeux et contraintes qu'ils auront définis (deuxième étape), pour lesquels une évaluation détaillée des potentialités aquifères pourra être mise en œuvre dans le cadre d'une action locale concertée, et selon les nouvelles technologies développées (cartographie de la distribution spatiale des altérites et de l'horizon fissuré, estimation des réserves et ressources renouvelables en s'appuyant sur les outils de la géophysique RMP (Résonnance Magnétique Protonique), implantation optimisée d'ouvrage de captage) .

9. Bibliographie

Bellenguez G. et Revel J.C. (1986) - Etude préliminaire d'une bauxite latéritique stéphanienne du bassin de Decazeville (département de l'Aveyron, France). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 302, série II, (3) p. 131-134

Brenot A., Gourcy L., Allier D., Mascre C., Pons A., Chery L., Blum A. (2007) - Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines. Volume 5. Bassin Adour-Garonne. BRGM-55346-FR.

Bruxelles L. (2003) - La doline du Luc Bas (Campestre-et-Luc, Gard) : témoin des paléoaaltérations successives des grands causses et de leur morphogenèse. Congrès de l'Association des Sédimentologues Français, Bordeaux, p. 45-46

Bruxelles L. et Simon-Coinçon R. (2004) - Nouvelles données sur la transgression crétacée dans les Grands Causses et en Aquitaine orientale, ASF, Livre des résumés, Bassins crétacés de France et d'Europe occidentale, 3 p.

Bruxelles L. (2004) - Dépôts et altérites des plateaux du Larzac central : causses de l'Hospitalet et de Campestre (Aveyron, Gard, Hérault). Evolution morphogénétiques, conséquences géologiques et implications pour l'aménagement. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Provence, Aix-en-Provence. - Documents du BRGM, n° 304, Orléans, CD-ROM.

Dewandel B., Lachassagne P., Wyns R., Maréchal J.C. and Krishnamurthy N.S., (2006) - A generalized hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of Hydrology*, 330, p. 260-284.

Fouad Abdo M. (2000) - Bassin versant de la Truyère. Ressource en eau Margeride Ouest. Etude de la ressource en eau des communes situées dans le bassin versant Lozérien de la Truyère. Etude hydrogéologique et analyse de la productivité d'étiage en région de socle. Rapport de stage BRGM.

Grano B. (1979) - Contribution à la connaissance hydrogéologique des massifs cristallins. Application au massif granitique du Sidobre et de la zone axiale de la Montagne Noire », Thèse.

Grano B., Soulé J.C. (1980) - Hydrogéologie des massifs cristallins du département du Tarn ; Sidobre et zone axiale de la Montagne Noire - Rapport BRGM.

Jaillet J. (1988) - Reconnaissance hydrogéologique en région de socle par l'analyse de tarissement de bassin versant et d'essais sur forages. Ouest du Massif Central. Thèse.

Marechal J.C., Wyns R., Lachassagne P., Subrahmanyam K., Touchard F. (2003) - Anisotropie verticale de la perméabilité de l'horizon fissuré des aquifères de socle : concordance avec la structure géologique des profils d'altération, *Comptes rendus Geoscience*, Vol. 335, p. 451-460.

Mauroux B., Wyns R., Castagnac C., Prognon C., Zammit C., Martelet G., Lions J., Touchard F. et Karnay G. avec la collaboration de **Jaouen T. et Thomas E.** (2009) - SILURES Limousin - module 1- SILURES « Base de données » Recueil des données, interprétations et bilans - Rapport final - Rapport BRGM/RP-57901-FR, 365 p., 54 ill., 24 tabl., 25 ann.

Schmitt J.M. (1986) - Albitisation triasique, hydrothermalisme jurassique et altération supergène récente : métallogénie des gisements uranifères du Rouergue. Thèse doctorat, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 243 p.

Simon-Coinçon R. (1989) - Le rôle des paléooaltérations et des paléoformes dans les socles : l'exemple du Rouergue (Massif Central français). Thèse de doctorat de l'université de Paris 1. Mémoires des Sciences de la terre n° 9, Ecole des Mines de Paris, 290 p.

Simon-Coinçon R., Thiry M., Schmitt J.M., Legendre S., Astruc J.G. (1995) - From inland paleosurfaces towards sedimentary basins : the example of southwestern French Massif Central. Field trip book, IGCP 317, Publ. ASF n°23, Paris, 64 p.

Simon-Coinçon R. (1999) - Palaeolandscape reconstruction of the south-western Massif Central (France). In "Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits, Thiry M. and Simon-Coinçon Ed., Special Publication n° 27 of the International Association of Sedimentologists, Blackwell.

Wyns R., Quesnel F., Simon-Coinçon R., Guillocheau F., Lacquement F. (2003) - Major weathering in France related to lithospheric deformation, in Paleoweathering and paleosurfaces in the Ardennes-Eifel region - Preizerdau - Luxembourg - 14-17/05/2003, *Géologie de la France*, Orléans : Editions BRGM, Volume 1, p.79-97, 4 Fig.

Wyns R., Baltassat J.M., Lachassagne P., Legchenko A.V., Vairon J., Mathieu F. (2004) - Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. 175, vol. 1, p. 21-34

Wyns R., Quesnel F., Lacquement F., Bourguin B., Mathieu F., Lebert F., Baltassat J.M., Bitri A., Mathon D. (2005) - Contrat de Plan Etat-Région Pays de la Loire - Projet de Recherche « Cartographie quantitative des propriétés du sol et du sous-sol » : Rapport final. BRGM/RP-53676-FR, 137 p., 64 fig., 22 tab., 19 pl. h.-t.

Wyns R. (2010) - Etude géologique des forages du bassin-versant du Ringelbach, (Soultzeren, Haut Rhin). Rapport BRGM/RP-56540-FR (à paraître).

Annexe 1

Extrait de la banque de données géologique

NUM_NATIONAL	X	Y	Altitude (m)	Pronfondeur atteinte (m)	Nature	Description géol. 1/50 000	Description géol. BSS	Limite altérites / HF (m)	Lithologie_01	Lithologie_02	Lithologie_03	Lithologie_04
08343X0015/F	576377	1975914	635	30	FORAGE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Leucogranites à grain moyen orienté ou équiné	1	Non mesurée	0 - 30 : GRANIT OU GNEISS	30 - 30 : FIN DE LA COUPE		
08343X0016/F	572504	1970912	558	30	FORAGE	Formations métamorphiques ; A l'Ouest de la faille d'Argentat (type Limousin) ; Unité de Leyme ; gneiss gns bleuté sombres à un ou deux micas	1	Non mesurée	0 - 1 : ALLUVIONS ?	1 - 30 : ROCHES DURES (GNEISS)	30 - 30 : FIN DE LA COUPE	
08343X0017/C	574637	1978016	600	-999	CARRIERE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Leucogranites à grain moyen orienté ou équiné	0	Non mesurée				
08343X0018/S	577689	1979586	580	103	SONDAGE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Granite équiné à biotite (type Glénat)	0	Non mesurée				
08343X0019/S	577699	1979496	580	100	SONDAGE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Granite équiné à biotite (type Glénat)	0	Non mesurée				
08343X0020/S	577709	1979446	585	46	SONDAGE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Granite équiné à biotite (type Glénat)	0	Non mesurée				
08343X0021/S	577729	1979396	590	97	SONDAGE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Granite équiné à biotite (type Glénat)	0	Non mesurée				
08343X0022/S	577789	1979386	600	124	SONDAGE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Granite équiné à biotite (type Glénat)	0	Non mesurée				
08343X0023/F	574858,2	1979758,8	596	31	FORAGE	Formations métamorphiques ; Formation de type Chatagnierien ; Schistes schisteux gns de Vieilleve	1	Non mesurée	0 - 15 : SCHISTES DEGRADES	15 - 31 : SCHISTES		
08343X0024/F	571767,9	1976499,7	370	61	FORAGE	Tnss. Sables kaoliniques plus ou moins grossiers	1	Non mesurée	0 - 7 : ARGILE + PETITS MORCEAUX DE CALCAIRE	7 - 18 : SCHISTES TENDRES JAUNES	18 - 31 : SCHISTES GRIS TRES DURS	31 - 34 : SCHISTES JAUNES
08343X0025/F	572185	1974555	510	58	FORAGE	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de St-Paul de Vern-Temou ; lithologie antémétamorphique : Tufs rhyodacitiques ou granites ; Gneiss rubanés à oeillets à microlite, deux micas, grenat, sillimanite rare	1	18	de 0 à 3 mètres argile maison	de 3 à 18 m schiste jaune tendre	de 18 à 38, schiste gns fracturé + argile rouge	de 38 à 58, schiste gns + passage fracture
08343X0026/F	577780	1976310	660	38	FORAGE	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Granite équiné à biotite (type Glénat)	1	18	de 0 à 18 m schiste jaune tendre	18 à 38 m schiste gns fracturé tendre		
08343X0027/F	571663,4	1974163,4	472	50	FORAGE	Formations métamorphiques ; A l'Ouest de la faille d'Argentat (type Limousin) ; Unité de Leyme ; gneiss gns bleuté sombres à un ou deux micas	1	Non mesurée	de 0 à 28 m schiste jaune tendre	de 28 à 40 m schiste gns	de 40 à 50 m schiste gns plus dur	
08343X4001/GT	572585	1973264	520	15	GITE	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de St-Paul de Vern-Temou ; lithologie antémétamorphique : Tufs rhyodacitiques ou granites ; Gneiss rubanés à oeillets à microlite, deux micas, grenat, sillimanite rare	0	Non mesurée				
08343X4002/GT	572585	1976616	460	-999	INDICE	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de St-Paul de Vern-Temou ; lithologie antémétamorphique : Gneiss, schistes, gneiss pyroclastiques ocellés à quartz en plaquettes (faciès blastomylonitique) à deux micas, disthène et sillimanite	0	Non mesurée				

Annexe 2

Extrait de la banque de données hydrogéologiques

NUM_NATIONAL	Nature	Données hydrogéologiques	Source: Date de la mesure	Source: Débit étiage (L/s)	Source: Débit hors étiage (L/s)	Profondeur du niveau hydrostatique (m)	Q air-lift (m ³ /h)	Q artésien (m ³ /h)	Profondeur du Q mesuré	Q maximum d'essai (m ³ /h)	Présence d'un forage sec	Essais et pompages réalisés	Prélèvement	Type de prélèvement	Remarque hydrogéologique
08342X0001/GC	CAMPAGNE-GEOCHIMIQUE	0													
08342X0002/F	PUITS	1				12,3									
08342X0004/HY	Source	1	11/10/1972	0,2											
08342X0005/F	PUITS	1				5,4									
08342X0006/HY	Source	1	1981		2,8										
08342X0007/HY	Source	1	1981		0,2								20	AEP	
08342X0008/HY	Source	1	1981		0,3								95	AEP	
08342X0009/HY	Source	1	1981		0,2										
08342X0010/HY	Source	1	1981		0,8								20	AEP	
08342X0011/HY	Source	0													
08342X0012/HY	Source	0													
08342X0013/HY	Source	1	1996		0,2								14	AEP	
08342X0014/F	PUITS	0													
08342X0015/HY	Source	1	1996		0,1								25	AEP	
08342X0016/HY	Source	1	1996		0,1								10	AEP	
08342X0017/F	FORAGE	1				15,0	0,4								
08342X0018/F	FORAGE	1				10,0	0,6								
08342X0019/F	FORAGE	1				30,0	1								
08342X0024/F	FORAGE	1					0,3		3						
08342X0025/F	FORAGE	1					0,2		15						
08342X0026/F	PUITS	1													
08342X0027/HY	Source	1											74,8	Industriel	
08342X0028/F	FORAGE	1					4		56						
08342X0029/F	FORAGE	1					0,3		17						
08342X0030/F	FORAGE	1									Forage sec				
08342X0031/F	FORAGE	1									Forage sec				
08342X0032/F	FORAGE	1									Forage sec				
08342X0033/F	FORAGE	1					6		23						
08342X0034/F	FORAGE	1				24,0									
08342X0035/F	FORAGE	0													
08342X0036/F	FORAGE	0													
08342X4001/GT	INDICE	0													
08342X4002/GT	INDICE	0													
08343X0001/GT	GITE-LIGNE	0													
08343X0002/TX	GALERIE	0													
08343X0003/S	SONDAGE	0													
08343X0004/F	PUITS	1				3,0									
08343X0005/F	PUITS	0													
08343X0006/F	PUITS	0													
08343X0007/S	SONDAGE	0													
08343X0008/S	SONDAGE	0													
08343X0009/S	SONDAGE	0													
08343X0010/S	SONDAGE	0													
08343X0011/GL	AFFLEUREMENT-EAU	1													
08343X0012/HY	Source	1	1996		0,6								50	AEP	
08343X0013/HY	Source	1	1996		0,2								47	AEP	
08343X0014/F	FORAGE	1				3,0									
08343X0015/F	FORAGE	1				6,0	2								
08343X0016/F	FORAGE	1				10,0	0,6								
08343X0017/C	CARRIERE	0													
08362X0009/TX	GALERIE	1								18					Il y a de l'eau ds la fracture d'un débit d'environ 5 à 7 Ls. La direction principale de ces fractures est Est-Ouest
08362X0010/TX	GALERIE	0													

Annexe 3

Inventaire des débits de forage sur la zone d'étude

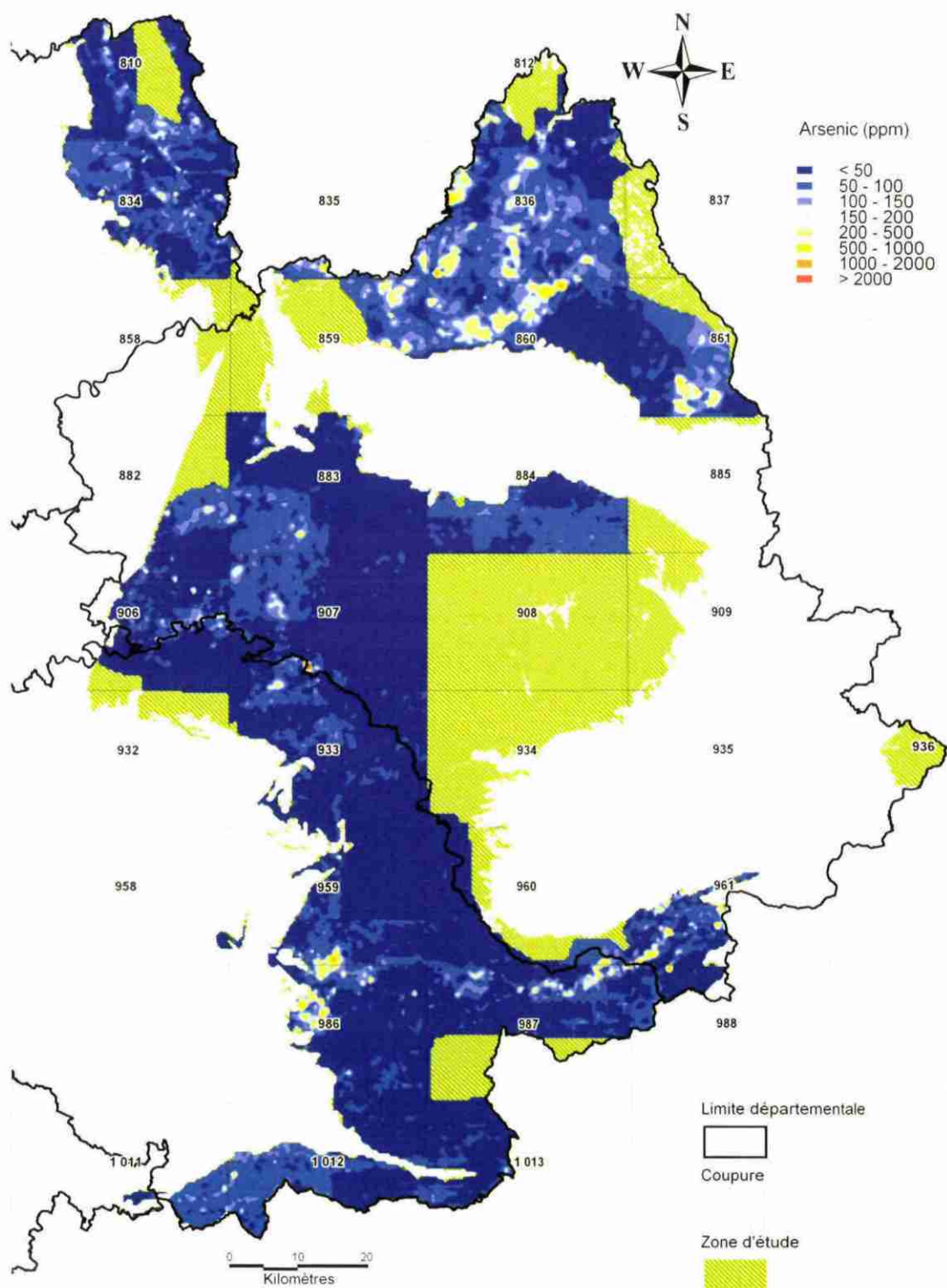
NUM_NATIONAL	X (Lambert II)	Y (Lambert II)	Altitude (m)	Géologie selon les cartes au 1 / 50 000 de la zone d'étude	Profondeur atteinte (m)	Q air-lift (m3/h)	Q artésien (m3/h)	Profondeur du Q mesuré (m)	Q maximum d'essai (m3/h)
08103X0010/F	575010	1995474	570	Roches plutoniques ; A l'Est de la faille d'Argentat ; Leucogranites monzonitiques type "Goules", "Latronquière" et "gare de Lamativie" ; avec intrusions de micaschistes et gneiss					4
08103X0011/F	575240	1994764	589	Roches plutoniques ; A l'Est de la faille d'Argentat ; Leucogranites monzonitiques type "Goules", "Latronquière" et "gare de Lamativie" ; avec intrusions de micaschistes et gneiss					4
08107X0028/F	572217	1981504	421	Formations métamorphiques ; A l'Est de la faille d'Argentat (type Millevaches) ; Gneiss et micaschistes en alternance ; avec gneiss variés dont gneiss gris peu micacés et sénécistochistes graphiteux ou feldspathiques	50	2		38	
08342X0017/F	566632	1977067	535	Formations métamorphiques ; A l'Ouest de la faille d'Argentat (type Limousin) ; Unité de Leyme ; gneiss gris bleuté sombres à un ou deux micras	60	0,4			
08342X0018/F	570683	1971683	580	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de Leyme ; lithologie antémétamorphique : tufs, grauwackes, shales ; Quartzites feldspathiques sombre à biotite, quartzo-micaschistes feldspathiques	30	0,6			
08342X0019/F	566932	1974215	540	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de Leyme ; lithologie antémétamorphique : tufs, grauwackes, shales ; Quartzites feldspathiques sombre à biotite, quartzo-micaschistes feldspathiques	50	1			
08342X0024/F	566907	1973229	450	Alluvions actuelles et subactuelles	38	0,3		3	
08342X0025/F	566967	1973174	460	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de Leyme ; lithologie antémétamorphique : tufs, grauwackes, shales ; Quartzites feldspathiques sombre à biotite, quartzo-micaschistes feldspathiques	65	0,2		15	
08342X0028/F	570542	1977722	365	Trias. Sables kaoliniques plus ou moins grossiers	71	4		56	
08342X0029/F	565368	1979854	532	Formations métamorphiques ; A l'Ouest de la faille d'Argentat (type Limousin) ; Unité de Leyme ; gneiss gris bleuté sombres à un ou deux micras	35	0,3		17	
08342X0033/F	565630	1971655	372	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques de type "Limousin" ; Diorites quartziques à biotites et hornblende ; faciès de bordure orientés	26	6		23	
08343X0015/F	576377	1975914	635	Formations éruptives ; Dans les formations métamorphiques du Plateau de Millevaches ; Leucogranites à grain moyen orienté ou équant	30	2			
08343X0016/F	572504	1970912	558	Formations métamorphiques ; A l'Ouest de la faille d'Argentat (type Limousin) ; Unité de Leyme ; gneiss gris bleuté sombres à un ou deux micras	30	0,6			
08343X0023/F	574858	1979759	596	Formations métamorphiques ; Formation de type Chataignerale ; Schistes sénécistochistes gris de Vieilleville	31	0,1		en surface	
08343X0024/F	571768	1976500	370	Trias. Sables kaoliniques plus ou moins grossiers	61				2
08346X0016/S	568091	1968132	470	Formation Paléozoïques ; Stéphanien ; Conglomérats, grès arkosiques, psammites	26				5
08346X0018/F	568801	1965820	400	Formations sédimentaires et volcaniques ; Formations stéphano- autunniennes ; paléobasites alcalins potassiques	70				0,02
08347X0046/F	572104	1969432	540	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de Leyme ; lithologie antémétamorphique : tufs, grauwackes, shales ; Quartzites feldspathiques sombre à biotite, quartzo-micaschistes feldspathiques	50	0,4			
08362X0009/TX	623914	1970401	330	Quartzite et micaschiste alternant de Lacapelle-dol-Fraisse à biotite et de Plaineceste. Unité inférieure des Gneiss	700				18
08368X0002/F	638492	1969964	290	Granite porphyroïde à biotite +/- muscovite de la Margende- Enraygues (320 Ma)	48	10,8			
08594X0001/F	612098	1956426	430	Colluvions et colluvions de fonds de vallon	61	2,8		31	
08594X0026/F	612178	1956376	430	Granite porphyroïde à biotite +/- muscovite de la Margende- Enraygues (320 Ma)	61	0,4			
08594X0029/F	612158	1956381	430	Colluvions et colluvions de fonds de vallon	61	1			
08594X0031/F	612038	1956451	430	Colluvions et colluvions de fonds de vallon	37	1			
08594X0032/F	612033	1956461	430	Colluvions et colluvions de fonds de vallon	52	0,7			
08828X0044/F	582605	1926036	551	Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement oeilés, Unité Para-autochtone	101				7,22
08833X0014/F	600412	1932841	594	Sénécistochistes feldspathiques, grauwackes indifférenciés, Unité Para-autochtone	94	1,4		85	
08845X0130/F	619338	1923802	602	Orthogneiss alcalin à quartz bleu, +/- porphyroïde de Rodez (600 Ma)	103				0,9
08845X0131/F	615661	1923798	680	Grès grossiers à intercalations argileuses bariolées et rares dolomites (Trias supérieur-Hettangien basal)	91				0,17
08846X0059/F	621640	1921014	645	Marnes bariolées et dolomites gréseuses (Rhétien-Hettangien basal)	32	1			
08846X0061/F	627208	1928599	500	Calcaires (+/- bioclastiques), passées dolomitiques, oolitiques, calcarénites, calcilités (Sinémun)	55	0,3			9
09072X0003/F	593136	1910599	457	Sénécistochistes feldspathiques, grauwackes indifférenciés, Unité Para-autochtone	62				0,2
09072X0004/F	593944	1915658	559	Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement oeilés, Unité Para-autochtone	71				0,5
09073X0009/F	606827	1918502	772	Orthogneiss alcalin à quartz bleu, +/- porphyroïde de Rodez (600 Ma)	70	0,4		23	
09073X0010/F	606828	1918503	772	Orthogneiss alcalin à quartz bleu, +/- porphyroïde de Rodez (600 Ma)	100	0,3		23	
09083X0011/F	633243	1911397	810	Réseau hydrologique (lacs, étangs, cours d'eau)	44				2
09087X0012/F	633326	1902302	905	Métagranoïde anatectique (Vibal-Lévêzeu), Unité Supérieure des Gneiss	77	0,1		10	
09087X0013/F	633406	1902207	895	Micaschistes et gneiss fins feldspathiques à passées schisteuses indifférenciés, Unité inférieure des Gneiss	45	1		30	
09087X0014/F	630115	1900839	801	Amphibolites diverses, Unité Supérieure des Gneiss	32	1,6		16	
09087X0015/F	630526	1900935	800	Leptynites, gneiss et micaschistes pélitiques indifférenciés, Unité Supérieure des Gneiss	32	2		16	
09087X0017/F	633401	1901844	860	Métagranoïde anatectique (Vibal-Lévêzeu), Unité Supérieure des Gneiss	70	1			
09088X0027/F	642645	1905863	950	Marnes et grès indifférenciés (Anisien-Ladinien)	58				10
09323X0024/F	576997	1896375	195	Dépôts alluvionnaires. Alluvions actuelles et modernes des rivières secondaires	40	0,2			2
09324X0124/F	585217	1895130	228	Micaschistes quartzitiques	155				3
09334X0002/F	612096	1893686	522	Alluvions fluviales actuelles	108	1			
09341X0004/F	615460	1893288	550	Argiles à graviers à faciès variés fluviales à palustres (Bartonnien)	55		0,3		9
09342X0050/F	627079	1899500	805	Méta-monzogranite à syénogranite calco-alcalins à texture porphyroïde (orthogneiss du Pinet)	23	1,5		16	
09342X0051/F	627091	1899371	790	Méta-monzogranite à syénogranite calco-alcalins à texture porphyroïde (orthogneiss du Pinet)	29	1,3		13	
09342X0052/F	622857	1897731	680	Alternances grès gris feldspathiques - schistes noirs ou gris, Formation de Saint-Sémin-sur-Rance métamorphisée, Nappe de St-Sémin-sur-Rance	113				0,5

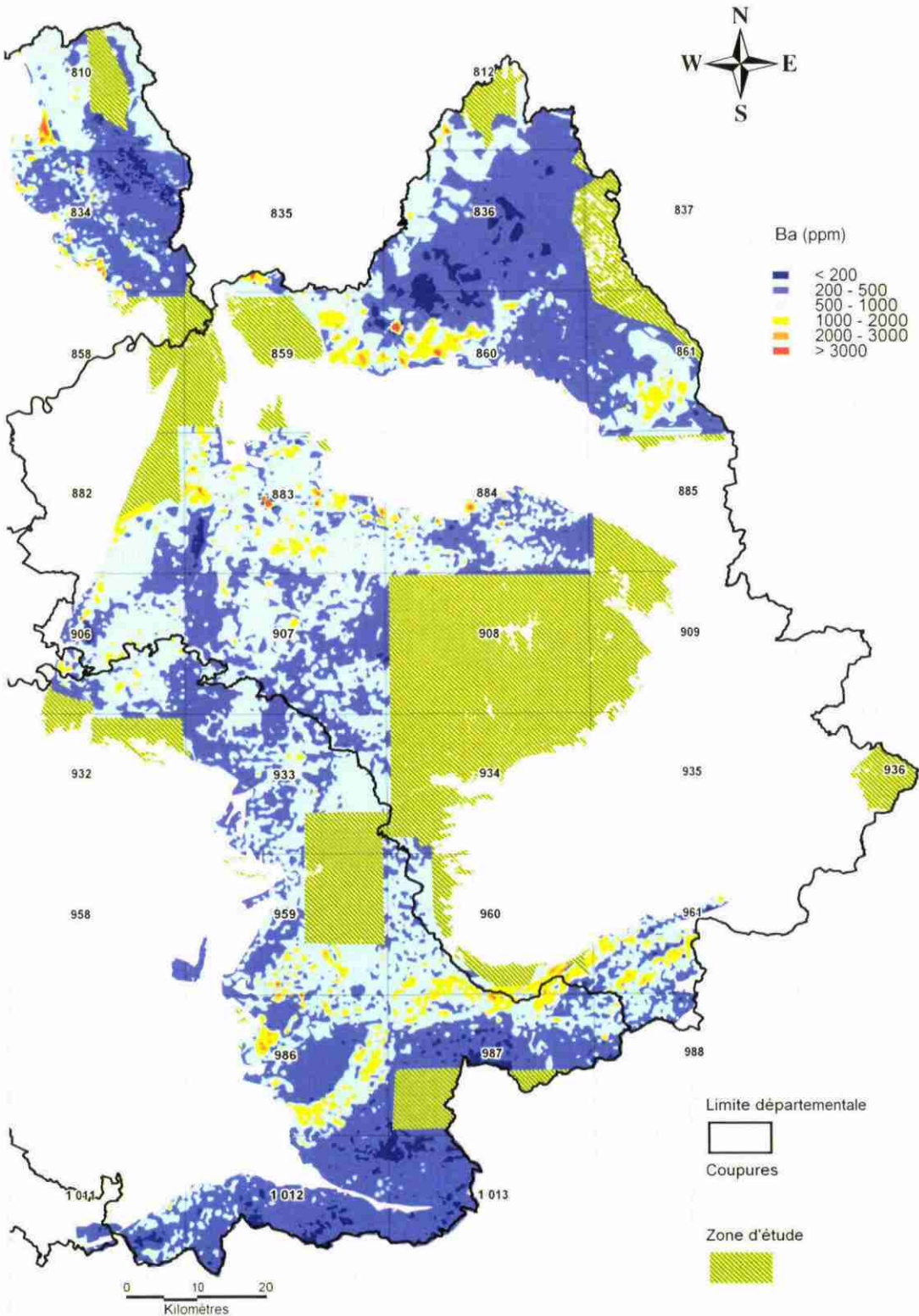
NUM_NATIONAL	X (Lambert II)	Y (Lambert II)	Altitude (m)	Géologie selon les cartes au 1 / 50 000 de la zone d'étude	Profondeur atteinte (m)	Q air-lift (m3/h)	Q artésien (m3/h)	Profondeur du Q mesuré (m)	Q maximum d'essai (m3/h)
09343X0052/F	630512	1895026	698	Alternances grès gris feldspathiques - schistes noirs ou gris, Formation de Saint-Semin-sur-Rance métamorphisée, Nappe de St-Semin-sur-Rance	72	0,5		40	
09343X0053/F	629737	1897373	770	Méta-monzogranite à syénogranite calco-alcalins à texture porphyroïde (orthogneiss du Pinet)	20	2		10	
09343X0054/F	629782	1897546	760	Méta-monzogranite à syénogranite calco-alcalins à texture porphyroïde (orthogneiss du Pinet)	17	2		8	
09343X0055/F	629611	1898650	720	Méta-monzogranite à syénogranite calco-alcalins à texture porphyroïde (orthogneiss du Pinet)	25	2		20	
09594X0018/F	607390	1872338	610	Formations anté-et-syn-orogéniques varisque : Précambrien (?) - Cambro-ordovicien, Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, Série schisteuse noire. Grès sombres; schistes noirs homogènes à intercalations gréseuses ("schistes de l'Albigeois")	60				1
09594X0019/F	611985	1872268	560	Formations anté-et-syn-orogéniques varisque : Précambrien (?) - Cambro-ordovicien, Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, Série schisteuse noire. Grès sombres; schistes noirs homogènes à intercalations gréseuses ("schistes de l'Albigeois")	20				1
09594X0024/F	607349	1872398	605	Formations anté-et-syn-orogéniques varisque : Précambrien (?) - Cambro-ordovicien, Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, Série schisteuse noire. Grès sombres; schistes noirs homogènes à intercalations gréseuses ("schistes de l'Albigeois")	85				8
09598X0017/F	609132	1869164	425	Néogène - quaternaire, Glacis d'érosion et d'accumulation - Formations alluviales, Holocène, Alluvions de la basse plaine	24	0,15			
09598X0018/F	611435	1868844	625	Formations anté-et-syn-orogéniques varisque : Précambrien (?) - Cambro-ordovicien, Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, Série schisteuse noire. Grès sombres; schistes noirs homogènes à intercalations gréseuses ("schistes de l'Albigeois")	36	0,15		3 m	
09598X0023/F	610053	1867612	601	Formations anté-et-syn-orogéniques varisque : Précambrien (?) - Cambro-ordovicien, Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, Série schisto-gréseuse verte, Formation du Masnau-Massuguiès - Rayssac : schistes homogènes gris à verts	85				3,5
09601X0020/F	617623	1873661	780	Nappe de Saint-Semin-sur-Rance, formation schisto-gréseuse grise de Saint-Semin-sur-Rance - Condomines (Cambrien basal)	90				5
09601X0021/F	617212	1873445	765	Nappe de Saint-Semin-sur-Rance, formation schisto-gréseuse grise de Saint-Semin-sur-Rance - Condomines (Cambrien basal)	78				5
09605X0012/F	620628	1863738	790	Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, série schisteuse verte (Cambrien sup. - Ordovicien basal), formation schisto-gréseuse de Mandegourc	31				2
09605X0013/F	619927	1862932	740	Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, série schisteuse verte (Cambrien sup. - Ordovicien basal), formation schisto-gréseuse de Mandegourc	24				10
09605X0014/F	620302	1864769	800	Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, série schisteuse verte (Cambrien sup. - Ordovicien basal), formation schisto-gréseuse de Mandegourc	40	0,2			
09605X0015/F	618074	1864359	800	Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, série schisteuse verte (Cambrien sup. - Ordovicien basal), formation des schistes homogènes du Masnau-Massuguiès - Rayssac	24	0,2		2	
09605X0018/F	617974	1863858	780	Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, série schisteuse verte (Cambrien sup. - Ordovicien basal), formation schisto-gréseuse de Mandegourc	15	0,1		1 à 10 m	
09605X0022/F	621198	1864229	841	Nappe de Saint-Semin-sur-Rance, roches filoniennes : filons de quartz "BTH" +/- minéralisé (avec son pendage)	42	0,1			
09606X0018/F	622140	1864319	795	Nappe de Saint-Salvi-de-Carcavès, série schisteuse verte (Cambrien sup. - Ordovicien basal), formation schisto-gréseuse de Mandegourc	36	1			
09608X0026/F	639040	1861335	980	Anté-orogénique varisque, domaine des Monts de Lacagne, sous-unité des ardoisières et de Senaux-le-Cabanial, sous-unité de Sepval-les-Cambous et du Mendelou s.s., formation des schistes noirs, localement ardoisières, à abondants nodules phosphatés	102				7,4
09608X0027/F	639090	1861235	975	Anté-orogénique varisque, domaine des Monts de Lacagne, sous-unité des ardoisières et de Senaux-le-Cabanial, sous-unité de Sepval-les-Cambous et du Mendelou s.s., formation des schistes noirs, localement ardoisières, à abondants nodules phosphatés	51				5
09862X0012/S	595721	1854015	276,5	Holocène, colluvions des talwegs et des fonds de vallées secondaires	80		53		
09864X0081/F	613134	1850288	580	Domaine des Monts de l'ouest de Lacagne, série péliito-grésocarbonatée noire à nodules phosphatés (Cambrien inférieur)	369,55		25	165 à 177	
09864X0083/F	613169	1850364	589	Domaine des Monts de l'ouest de Lacagne, série péliito-grésocarbonatée noire à nodules phosphatés (Cambrien inférieur)	347,65		30	171 à 186	
09867X0027/F	603926	1847354	645	Granodiorite grise, zone d'altération profonde, plus ou moins recouverte de formations superficielles, granite du Sidobre	5,6				0,6
09867X0116/F	604306	1847334	650	Holocène, colluvions des talwegs et des fonds de vallées secondaires	42				3
09868X0092/F	610796	1848626	482	Holocène, alluvions de la basse plaine	46				31
09873X0017/F	629071	1856339	798	Alluvions récentes	36,5				2
09873X0030/F	630894	1854047	1155	Granite à biotite et grenat (Montalet). Roches éruptives précoces	33				0,6
09873X0039/F	634257	1856163	835	Alluvions récentes	28				3
09873X0040/F	632235	1856991	859,97	Brèche volcanique kérotophyrique, à l'intérieur de la "Formation schisto-carbonatée verte"	20				50
09873X0041/F	634451	1856136	834	Unité des ardoisières: schistes noirs ardoisières, pour l'essentiel (Cambrien inférieur)	48				0,3
09874X0034/F	640617	1857304	890	Colluvions	30	0,1			
09875X0051/F	619839	1847605	725	Formation schisto-gréseuse de Puech-Plo. Groupe de La Salvetat, Cambrien probable	29				0,3
10123X0062/F	605689	1835145	340	Roches métamorphiques et cristallines gneiss de la zone axiale indifférenciées	60	0,1			

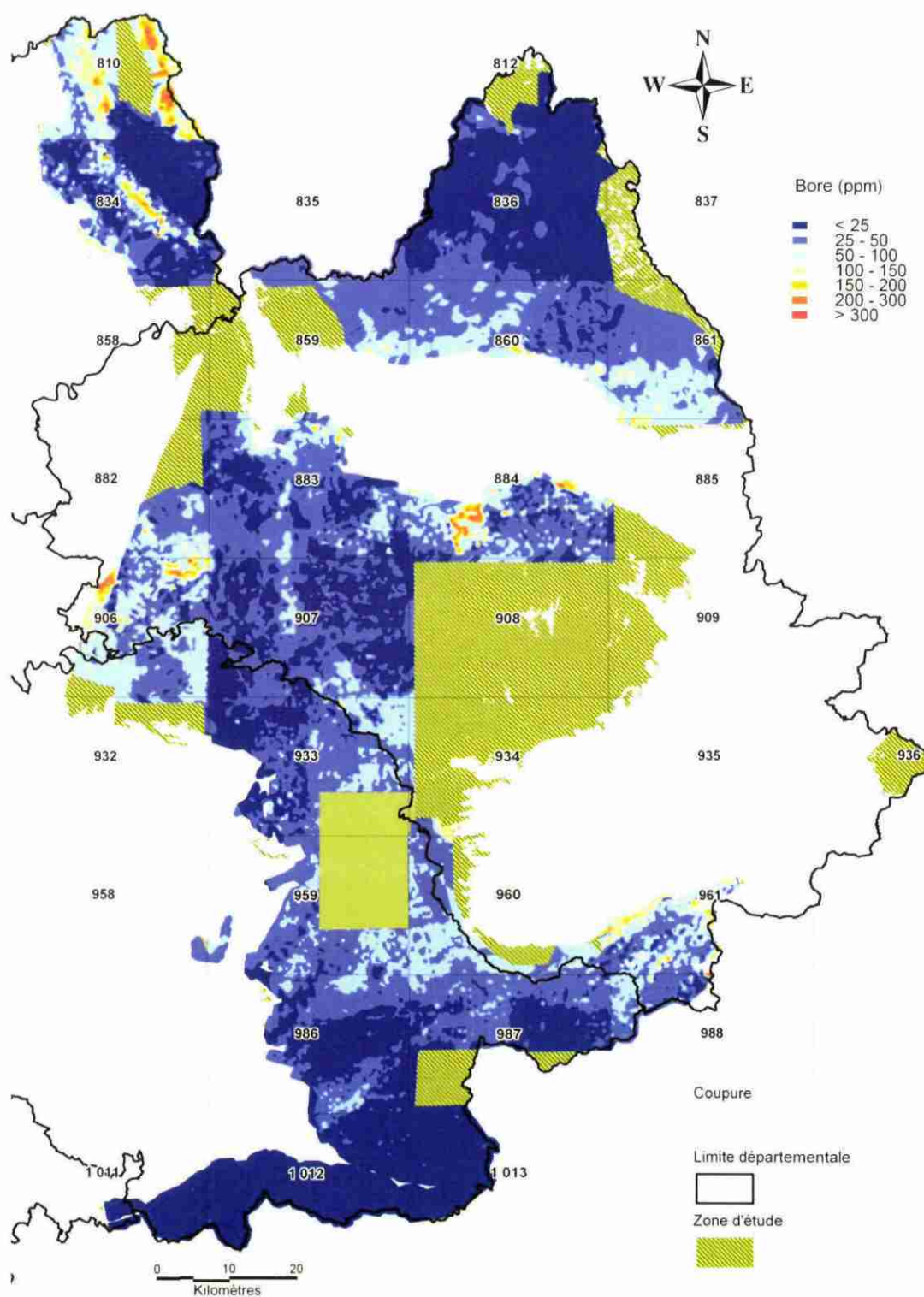
Annexe 4

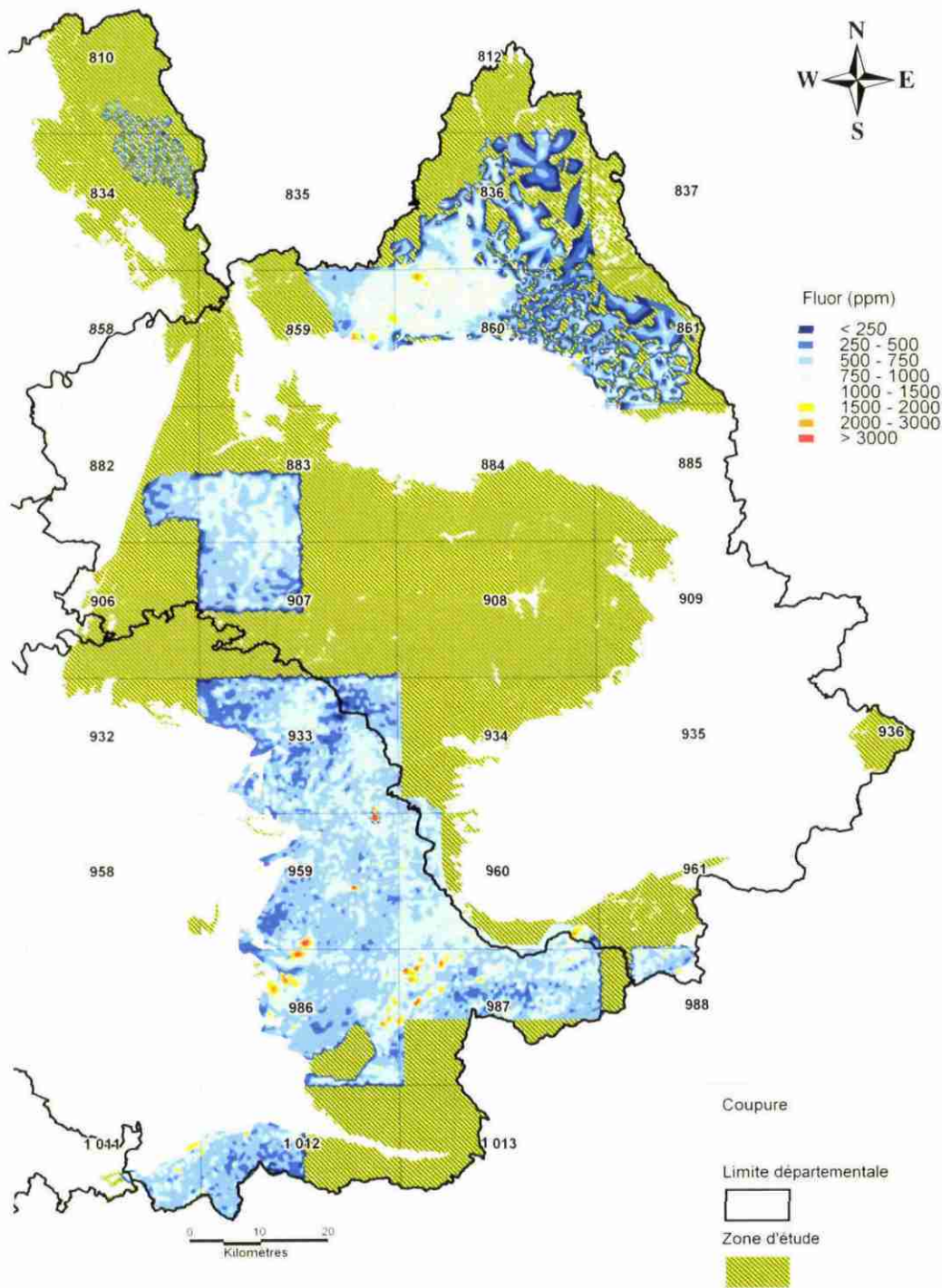
Anomalies géochimique par élément trace spécifié dans la DCE (source : inventaire minier national)

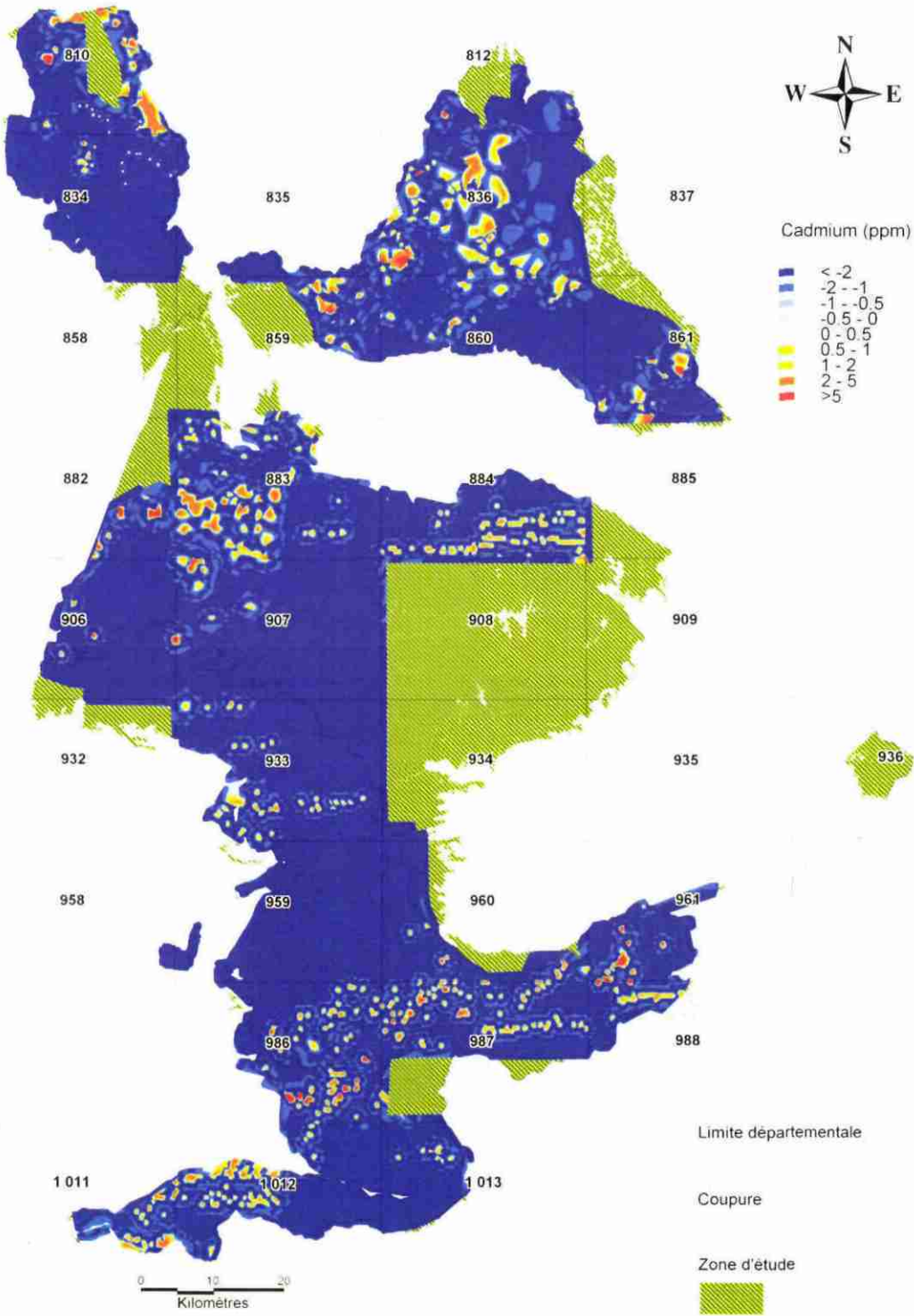
(Eléments étudiés : As, Ba, B, F, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, Sb, Al, Ag, Fe, Mn)

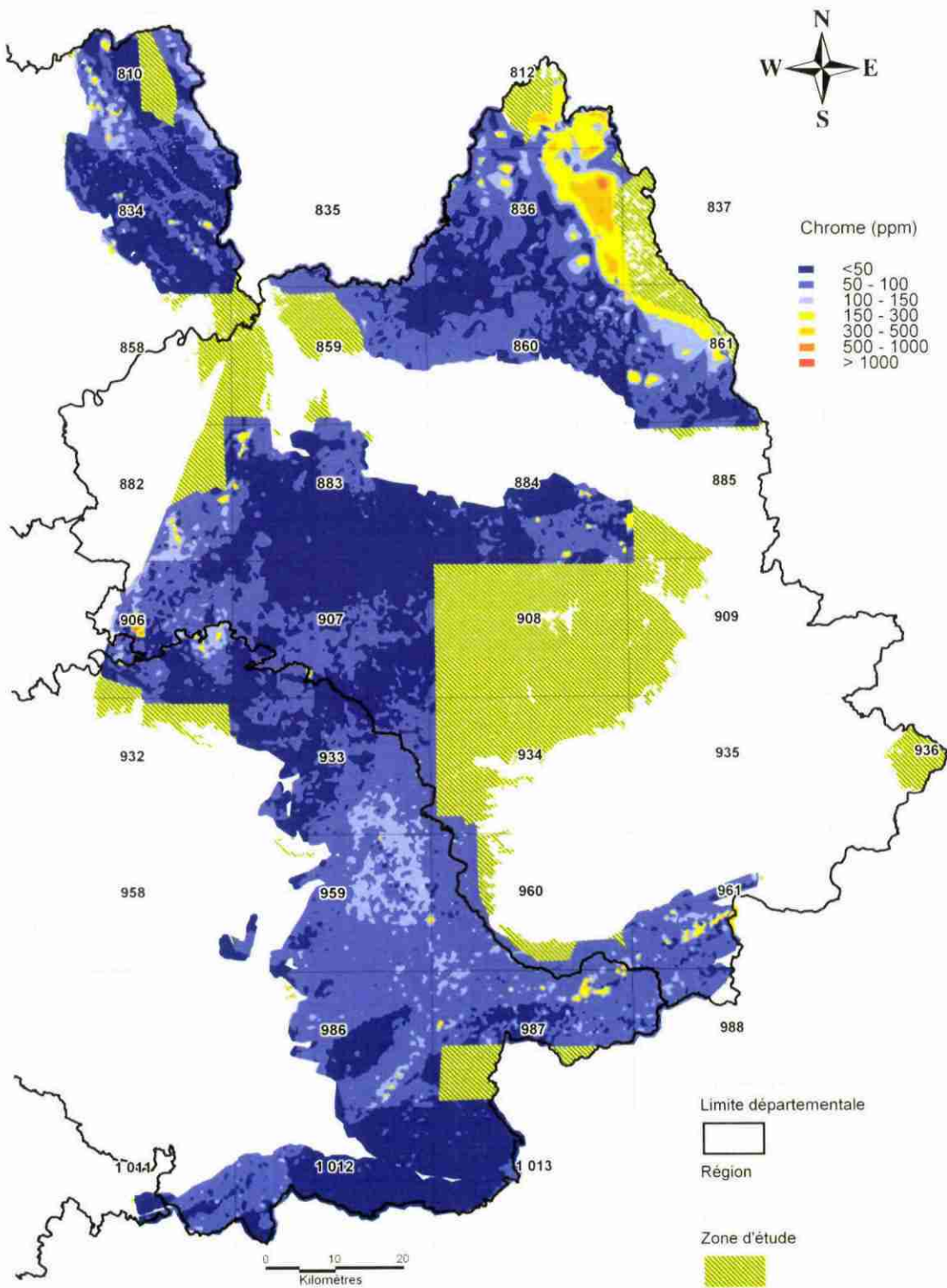


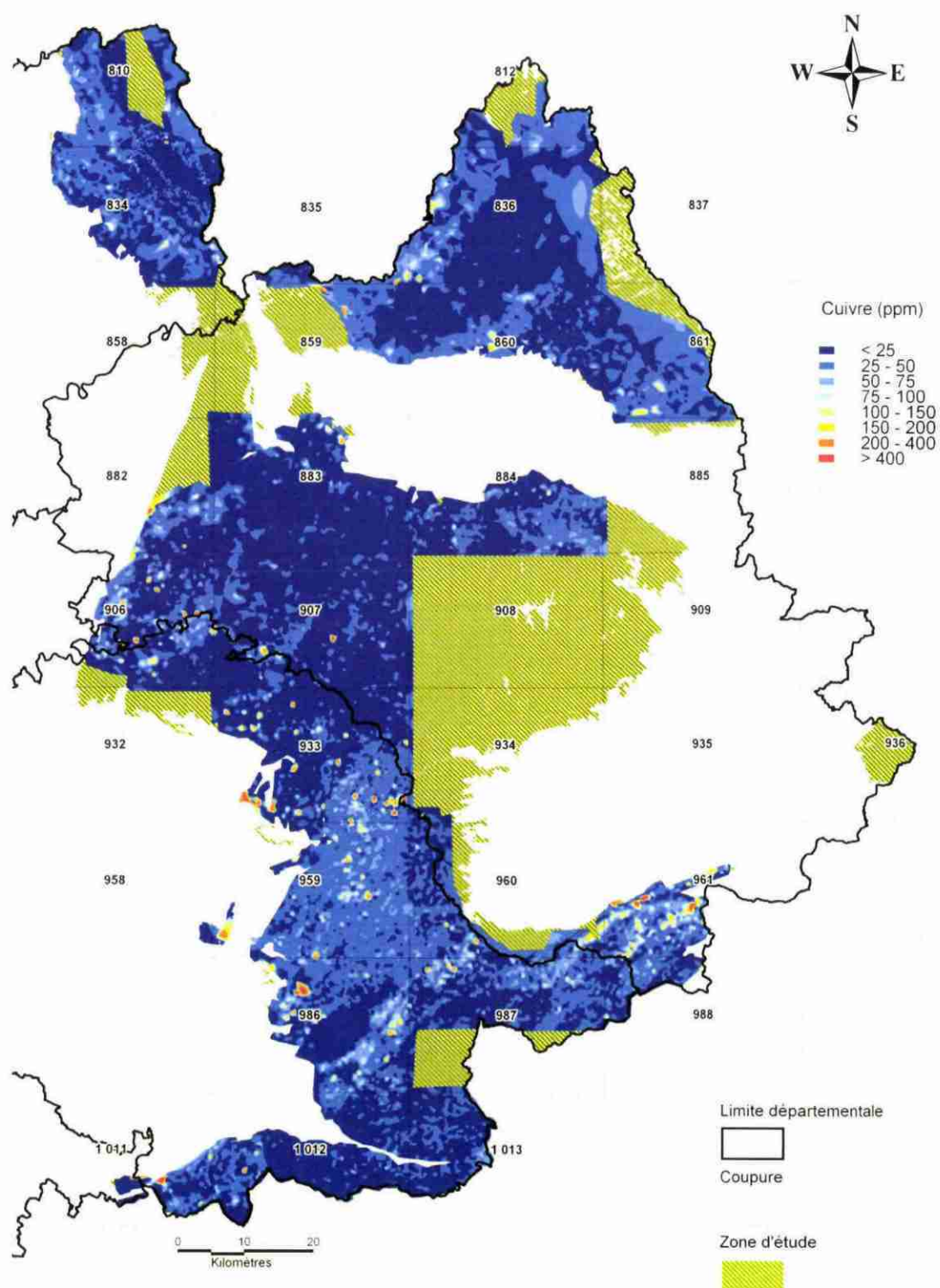


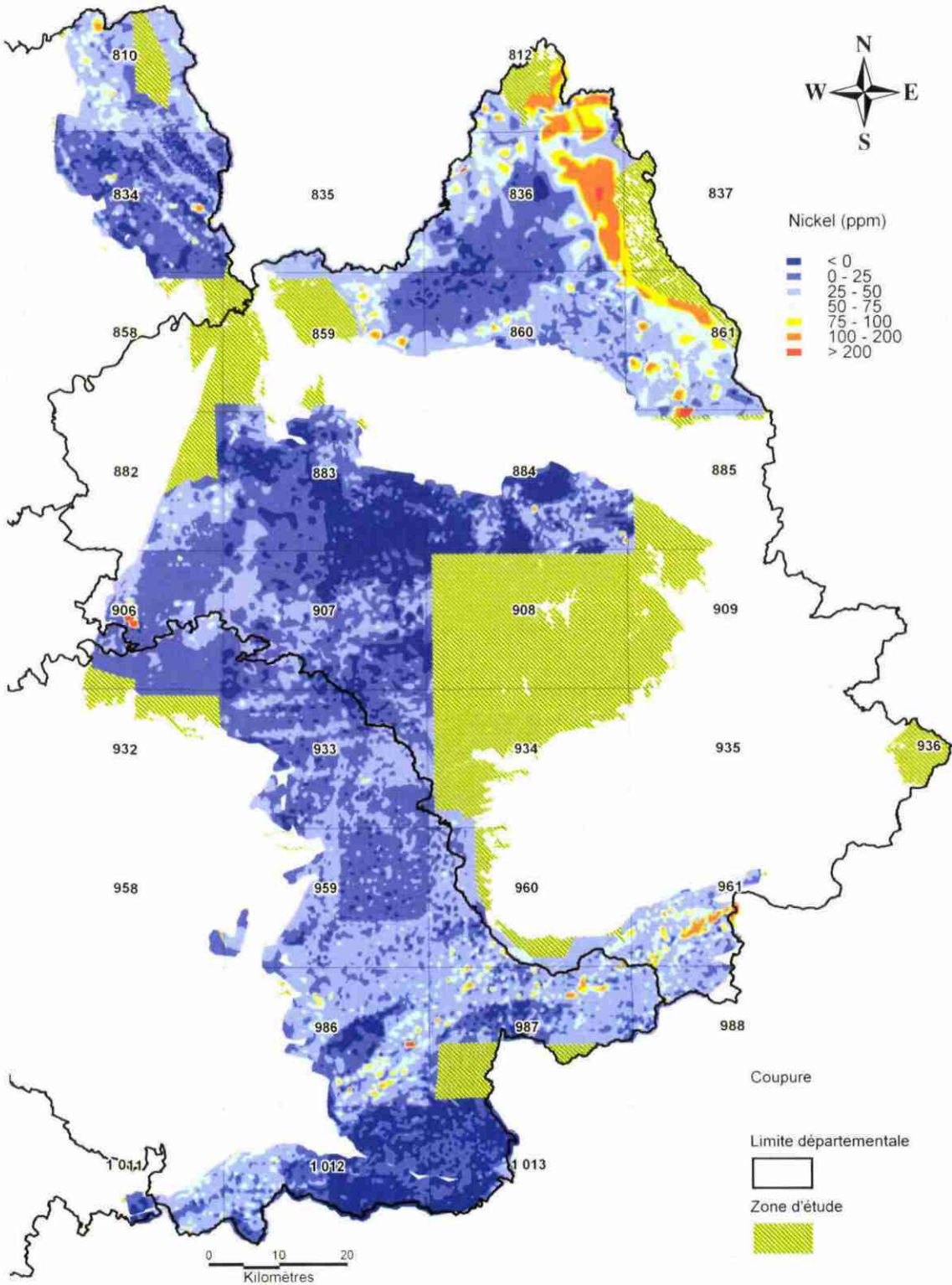


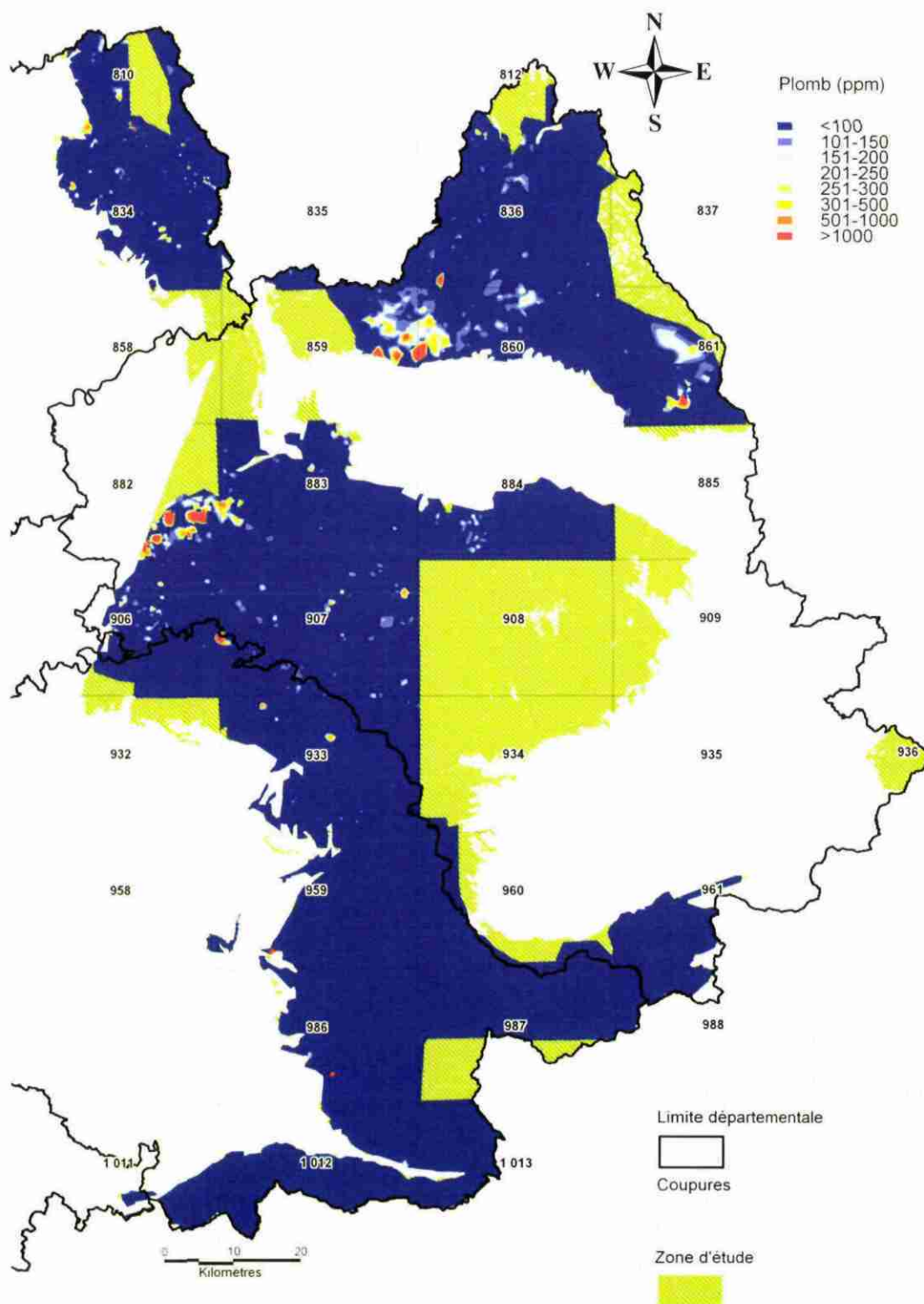


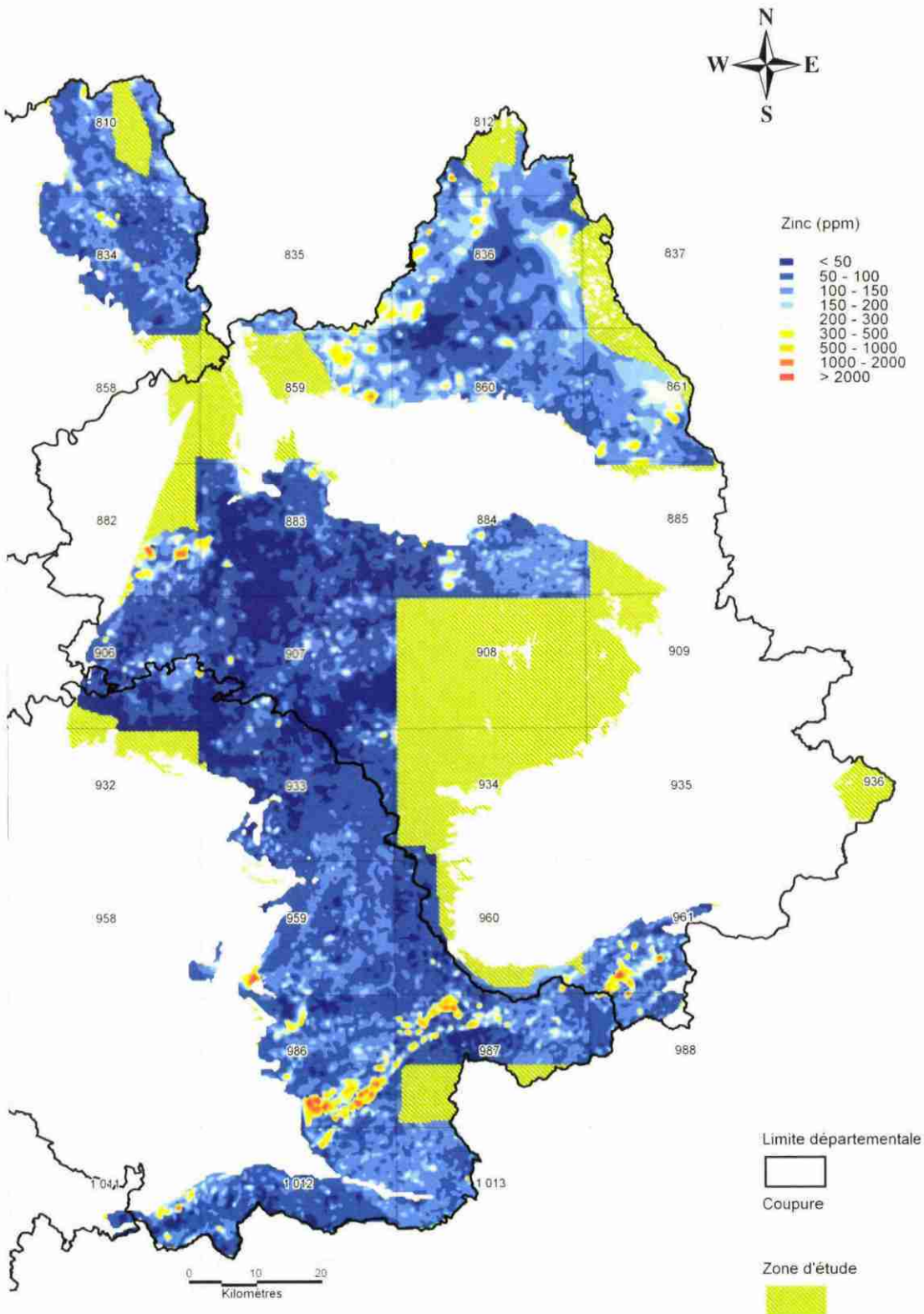


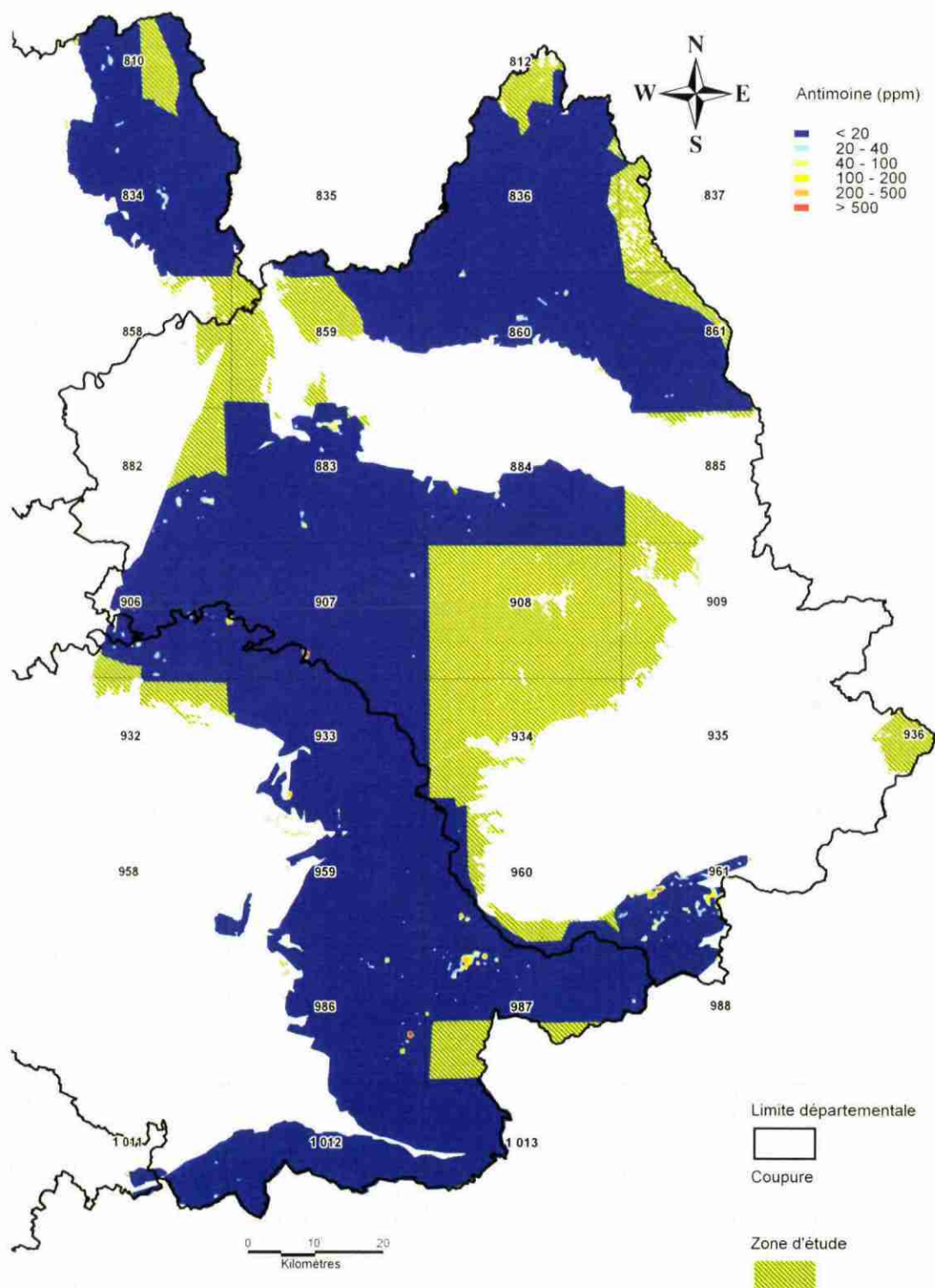


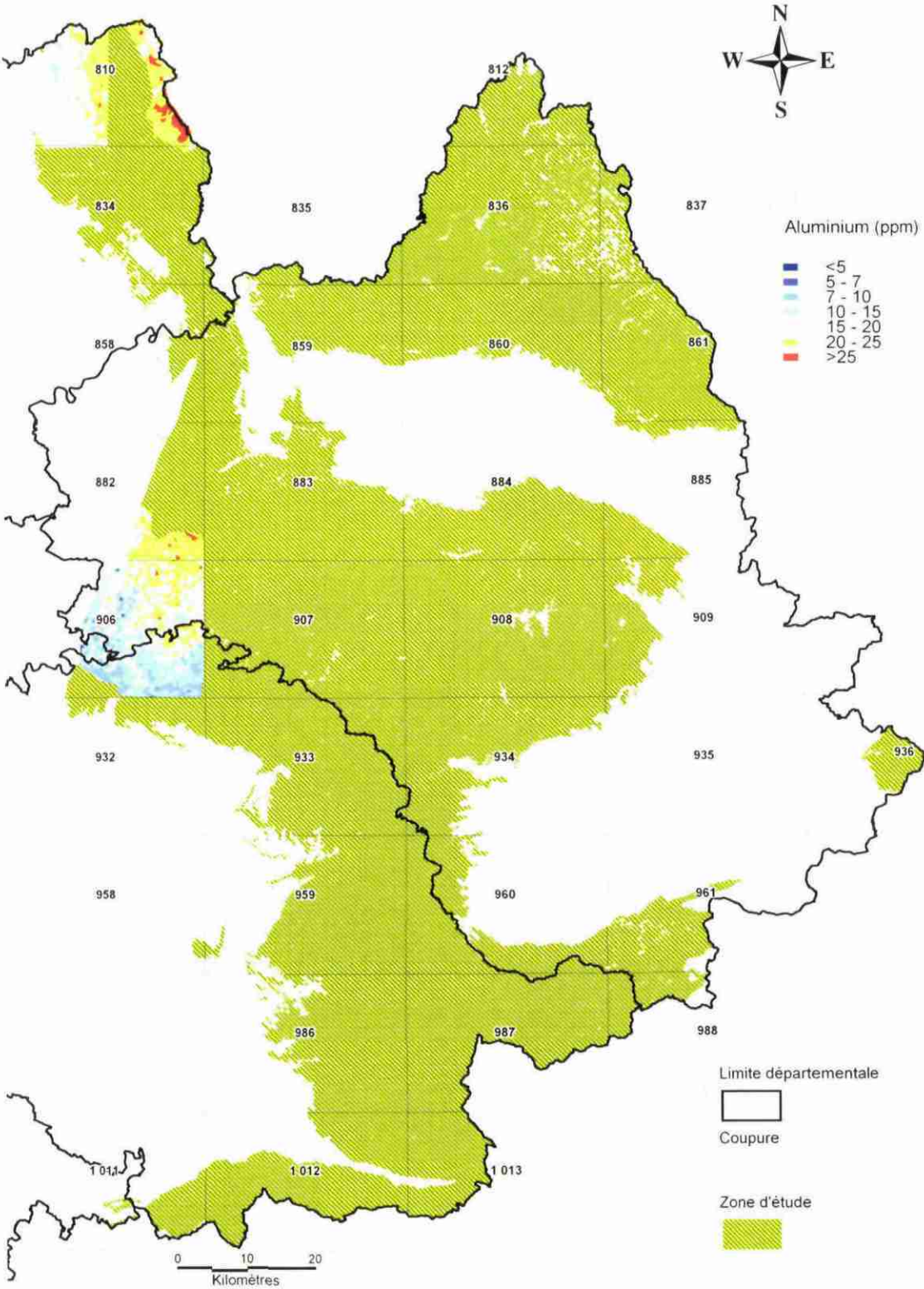


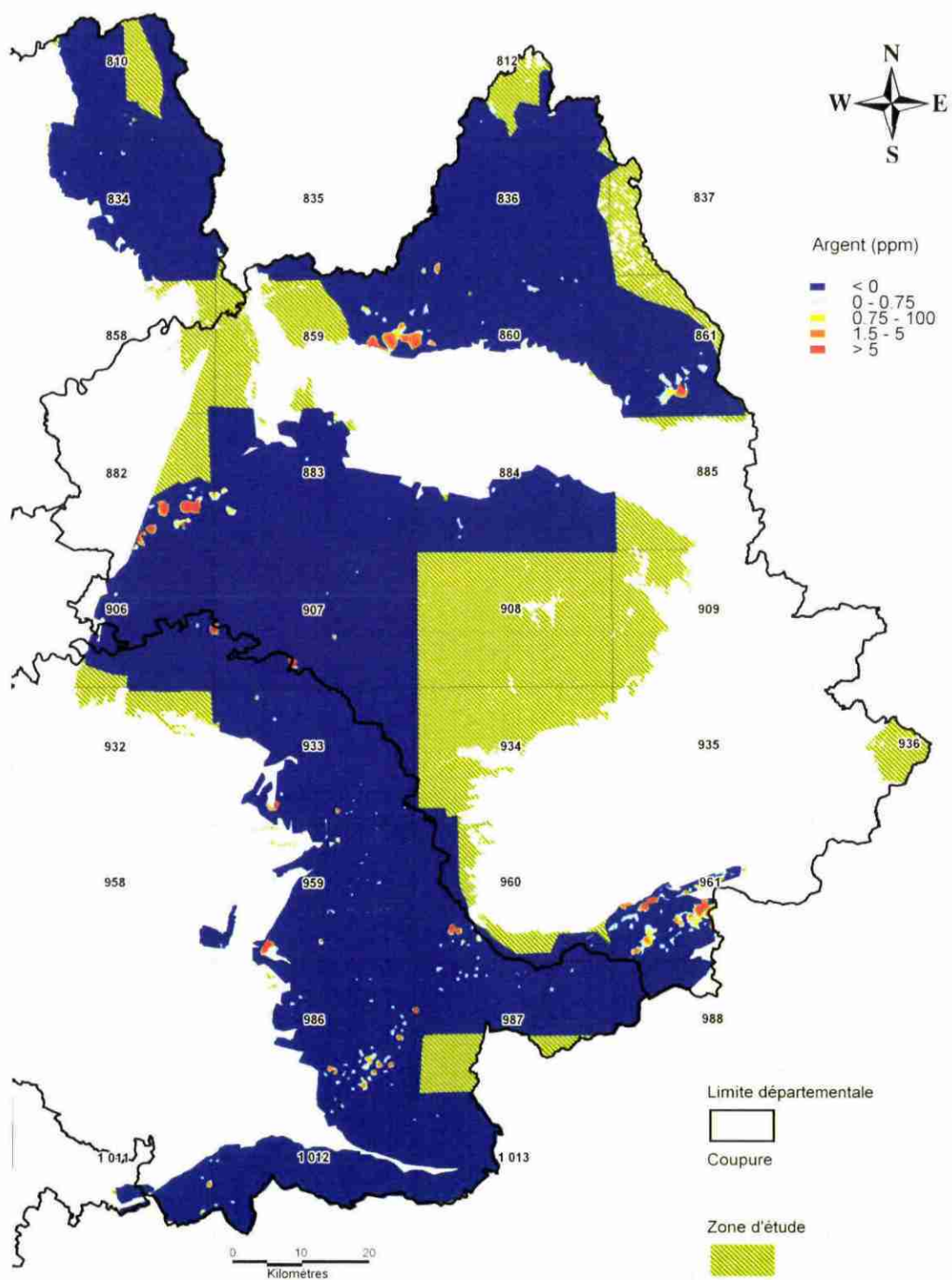


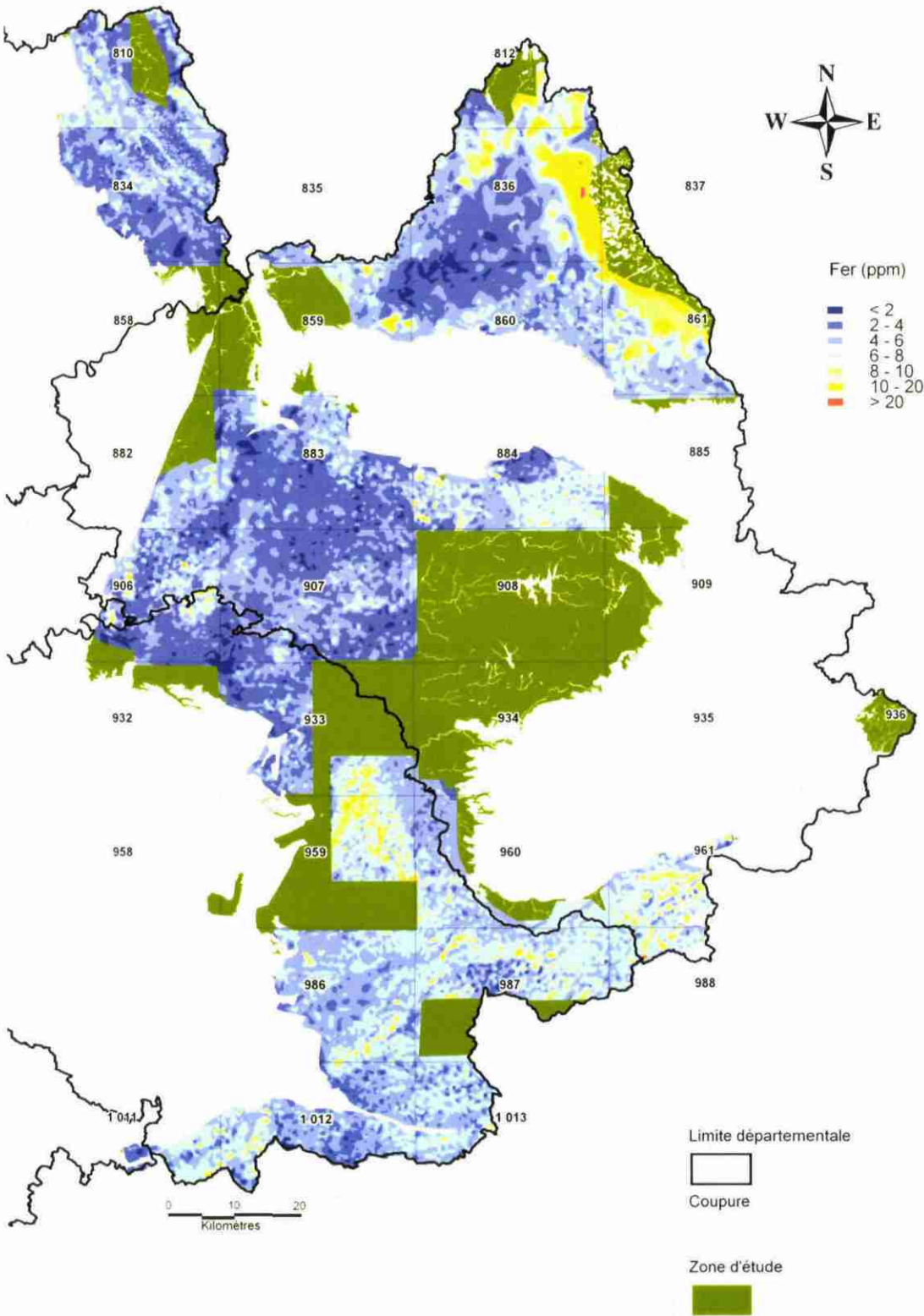


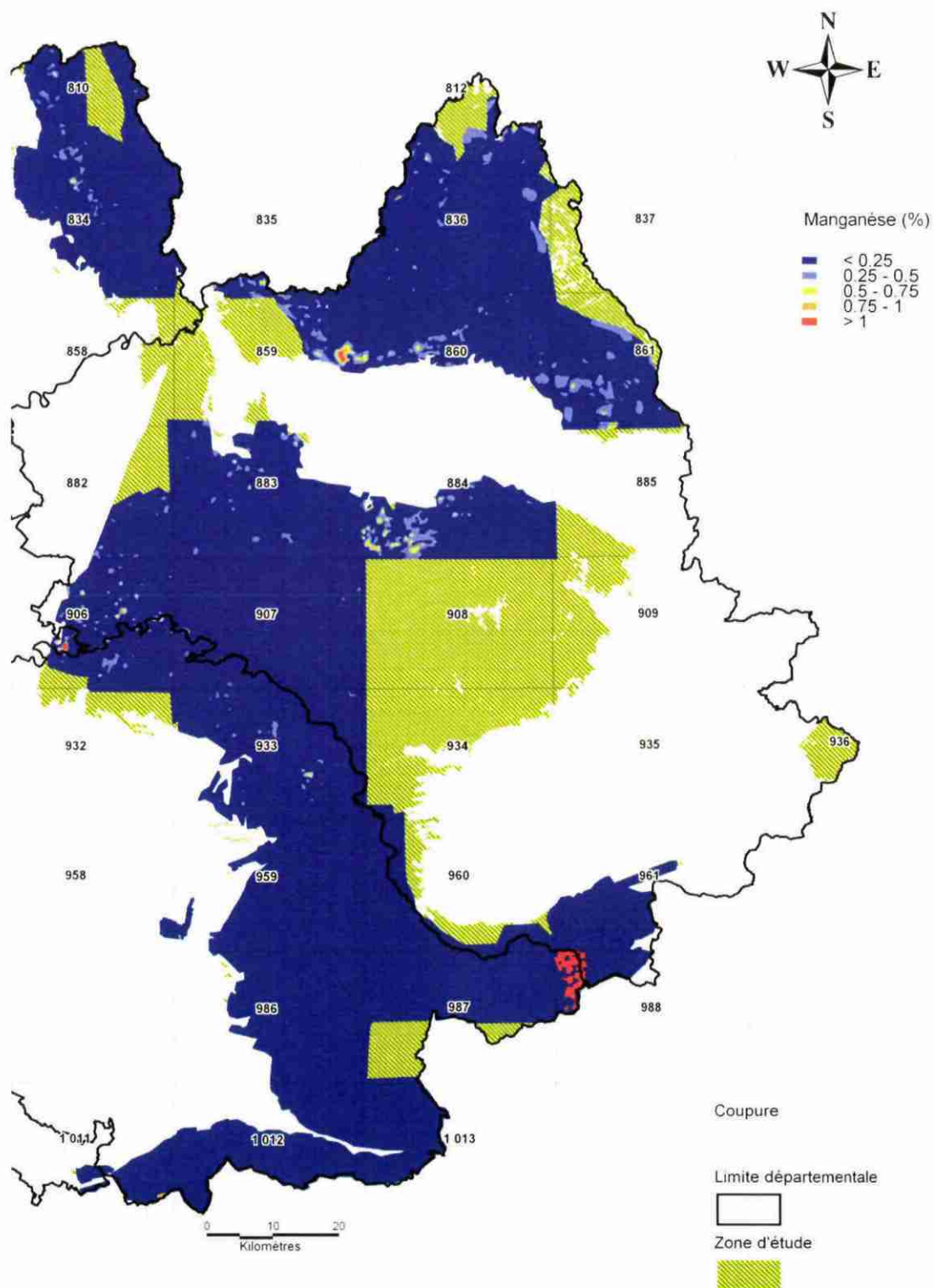












Annexe 5

Extrait de la Banque de données sur les indices et gites miniers

N_de_fiche	Nom_du_site	Production	Importance	Substance	Commune	X_L2etendu_métrique	Y_L2etendu_métrique	Eltis_DEP	Formation géologique affleurante
FRA-00008	Saint-Salvy (Noaijac-Saint-Salvy)	500	3	Germanium	SAINT-SALVY-DE-LA-BALME (81269)	602351	1844276	non	Domaine des Monts de l'ouest de Lacauze, série pélo-grése-carbonatée noire à nodules phosphatés (Cambrien inférieur)
FRA-00064	Peyrebrune	36000	1	Piomb	MONTREDON-LABESSONNIE (81182)	593038	1862202	oui	Formations anté-et-syn-orogéniques varisques - Précambrien (?) - Cambro-ordovicien. Nappe de Saint-Salvy-de-Carcavès. Série schisteuse noire. Silt et coulées de métadolérites et metabasites
FRA-00065	Montredon-Labessonnié	1084	1	Wolfram	MONTREDON-LABESSONNIE (81182)	599246	1858994	non	Bartolien
FRA-00066	Enguialès (Mirabel)	977	1	Wolfram	ENGUIALÈS (12093)	615157	1962898	non	Schistes sénéceux bleutés et beiges de Montsalvy-Vernhades, Unité Para-autochtone
FRA-00070	La Baume (12, Pb)	77000	1	Piomb	VILLEFRANCHE-DE-ROUERGUE (12300)	577326	1926883	oui	Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement ocellés, Unité Para-autochtone
FRA-00123	Bertholène	500	1	Uranium	BERTHOLENE (12026)	633477	1931479	non	Orthogneiss granitique des Palanges (550 Ma)
FRA-00125	Montpelet's	120000	1	Banite	MONTBAZENS (12148)	589138	1943287	oui	Dolomies à lits d'argilites banolées et de marnes blanchâtres à passées ligniteuses (Hettangien)
FRA-00126	Colombières (Colombiez)	150000	1	Banite	COLOMBIÈRES (12068)	597745	1930078	oui	Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement ocellés, Unité Para-autochtone
FRA-00128	Padiès		1	Fluorine	PADIÈS (81199)	601849	1892744	oui	Paléozoïque, formation anté-orogénique varisques. Précambrien (?) - Cambro-Ordovicien, nappe de Saint-Sémin-sur-Rance, formation de St-Sémin-sur-Rance - Condamines; alternance de grès gris, plus ou moins feldspathiques et de schistes noirs ou gris
FRA-00129	Trébas	1080	0	Cuivre	CADIX (81047)	610210	1883086	oui	Cénozoïque, Néogène - Quaternaire, formation colluviales, colluvions des talwegs et des fonds de vallées secondaires
FRA-00130	Le Burg, Le Burg		1	Fluorine	PAULINET (81203)	605554	1874715	oui	Roches magmatiques et filoniennes tardi-varisques. Filons de quartz "BTH" (brèche tectonique hypersilicifiée), plus ou moins minéralisés. 1- avec pendage
FRA-00131	Montroc		2	Fluorine	MONT-ROC (81183)	602350	1868617	oui	Formations anté-et-syn-orogéniques varisques - Précambrien (?) - Cambro-ordovicien. Nappe de Saint-Salvy-de-Carcavès. Série schisteuse noire. Grès sombres; schistes noirs homogènes à intercalations gréseuses ("schistes de l'Albigois")
FRA-00132	Le Moulinai	120000	0	Fluorine	RAYSSAC (81221)	607957	1868811	oui	Cénozoïque, Néogène - quaternaire. Dépôts anthropiques. Remblais
FRA-00157	Compilbat		1	Fluorine	COMPILBAT (12071)	589237	1930376	oui	Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement ocellés, Unité Para-autochtone
FRA-00210	Saint Geniez-d'Olt (Le Minier)	140000	1	Banite	SAINT-GENIEZ-D'OLT (12224)	652189	1943995	oui	Micaschiste lamellaire à semi-lamellaire +/- quartzueux, quartzo-leptyntes, Unité inférieure des Gneiss
FRA-00230	Bor-Laurélie		0	Or	BOR-ET-BAR (12029)	579962	1910582	non	Séncitoschistes feldspathiques, grauwaques indifférenciés, Unité Para-autochtone
FRA-00247	Ferrières (81)		0	Wolfram	FERRIERES (81091)	609160	1851391	non	Monzogranite blanc non porphyroïde, granite du Sidobre
FRA-00249	Fumade		1	Wolfram	CASTELNAU-DE-BRASSAC (81062)	613066	1850887	non	Nappe de St-Salvy-de-Carcavès, série schisto-gréseuse verte (Cambrien supérieur-Ordovicien basal), formation des schistes homogènes du Masnau-Massuguiès-Rayssac
FRA-00277	Le Grand Fraud		0	Or	TEYSSIEU (46315)	569250	1990384	non	Roches plutoniques ; A l'Est de la faille d'Argentat ; Granite à biotite et cordiérite, type "Teyssieu", faciès échant
FRA-00280	Le Serre		0	Piomb	LA BASTIDE-L'EVEQUE (12021)	582430	1928277	oui	Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement ocellés, Unité Para-autochtone
FRA-00281	Le Valia		0	Wolfram	SAINT-HIPPOLYTE (12226)	617308	1968106	non	Granodiorite de Soulaque
FRA-00285	Les Bordes		0	Zinc	ENTRAYGUES-SUR-TRUYERE (12094)	617403	1961225	oui	Granite porphyroïde à biotite +/- muscovite de la Margende-Entraygues (320 Ma)
FRA-00287	Les Crozes		0	Zinc	SANVENS (12259)	577024	1922869	oui	Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement ocellés, Unité Para-autochtone
FRA-00303	N.D. de la Brune		0	Zinc	ROUMÉGOUX (81233)	595691	1867206	oui	Formations anté-et-syn-orogéniques varisques - Précambrien (?) - Cambro-ordovicien. Nappe de Saint-Salvy-de-Carcavès. Série schisto-gréseuse verte. Formation du Masnau-Massuguiès - Rayssac : schistes homogènes gris à verts
FRA-00309	Pech-la-Rode		0	Or	SAINT-MEDARD-NICOURBY (46282)	574620	1973194	non	Formations métamorphiques ; Formation de type Limousin ; Unité de St-Paul de Vern-Terrou ; lithologie antémétamorphique : lufs rhyolitiques sodiques à dacitiques ; Leptyntes à biotite et biotite-amphibole avec alternance d'amphibolites
FRA-00310	Pédaque	15000	0	Banite	SAINT-VINCENT-DU-PENDIT (46295)	566529	1981215	oui	Formations métamorphiques ; A l'Ouest de la faille d'Argentat (type Limousin) ; Unité de Leyme ; gneiss gris bleuté sombres à un ou deux micas
FRA-00566	Sarrautric		0	Zinc	ROUAIROUX (81231)	619980	1830655	oui	Gneiss ocellés d'Héroc. Groupe du Somail-Nore (Protérozoïque supérieur ?)
FRA-00567	La Prune		0	Cuivre	ESCOUSSENS (81084)	591633	1830662	oui	Roches métamorphiques et cristallines métamorphisme de contact : micaschistes et quartzites métamorphisés
FRA-00584	Berian	5000	0	Fluorine	MONTREDON-LABESSONNIE (81182)	598745	1854289	oui	Holocène, colluvions des talwegs et des fonds de vallées secondaires
FRA-00585	Cambon	10	0	Fluorine	ROQUECOURBE (81227)	597343	1852787	oui	Réseau hydrographique
FRA-00595	Ouvre		0	Zinc	CAMARES (12044)	646209	1866817	oui	Calcaires bleu-noir à interitis de petites noires, Monts de Lacauze (Cambrien inférieur)
FRA-00597	Brusque	1200	0	Zinc	BRUSQUE (12039)	649115	1863212	oui	Ensemble carbonaté massif comprenant des calcaires bleus qui passent à la base et vers l'est à des dolomies et des niveaux à silex, Monts de Lacauze (Cambrien inférieur)
FRA-00599	Launère		0	Piomb	SANVENS (12259)	574923	1921176	oui	Granite porphyroïde à biotite de Villefranche-de-Rouergue (295 Ma)
FRA-00600	Roquetayre	10000	0	Fluorine	RAYSSAC (81221)	605154	1869008	oui	Roches magmatiques et filoniennes tardi-varisques. Filons de quartz "BTH" (brèche tectonique hypersilicifiée), plus ou moins minéralisés. 1- avec pendage
FRA-00602	La Legrie		0	Cuivre	NAJAC (12167)	571917	1910368	oui	Métagabros et amphibolites associées, Unité Supérieure des Gneiss
FRA-00603	Puechguier		0	Cuivre	LACAPPELLE-SEGALAR (81123)	573017	1902756	oui	Terrains mésozoïques Permien Autunien I ensemble grése-conglomératique gris, rose et rouge
FRA-00623	La Broncané	2000	0	Fluorine	SAINT-CIRQUE (81247)	604452	1885537	oui	Paléozoïque, formation anté-orogénique varisques : Précambrien (?) - Cambro-Ordovicien, nappe de Saint-Salvy-de-Carcavès, série schisteuse noire, grès sombres ; schistes noirs homogènes ("schistes de l'Albigois")
FRA-00624	Labouai	60	0	Banite	SAINT-MARCEL-CAMPES (81262)	574918	1898154	oui	Socle métamorphique. Gneiss à grain fin à épidote et amphibole
FRA-00628	La Coste (12)		0	Banite	BROQUIES (12037)	629982	1892948	oui	Alternances grès gris feldspathiques - schistes noirs ou gris, Formation de Saint-Sémin-sur-Rance métamorphisée, Nappe de St-Sémin-sur-Rance
FRA-00654	Alban le Fraysse	50000	0	Fer	LE FRAYSSE (81096)	607056	1877920	oui	Néogène - quaternaire. Glacis d'érosion et d'accumulation - Formations alluviales. Pliocène supérieur terminal - Pleistocène inférieur. Glacis d'accumulation et matériaux des paléovalées les plus anciennes - palier supérieur

Annexe 6

Extrait de la banque de données sur les informations pétrographiques collectées dans les notices des cartes géologiques au 1/50 000

MI_PRINX	CARTE	NOTATION	DESCRIPTION	Description minéralogique	Commentaire total	Note de l'altérabilité
429930	988	k1G	Grès rubanés, à la base de l'ensemble schisto-gréseux de l'enveloppe du granite du Mendic. Précambrien à Cambrien inférieur.		FILON	0
429940	988	k2a	Dolomies massives du Cambrien inférieur de l'unité d'Avène-Mendic, calcaires des unités de Fayet et de Brusque. Versant nord de la zone axiale			6
429941	988	k1	Formation schisto-gréseuse vert-brun du Marcou. Précambrien à Cambrien inférieur gréseux des unités de Brusque, de Mélagues-Marcou, de Saint-gervais et de la vallée de la Mare (Les Sucs, Castanet)	La partie inférieure de la série est à dominante psammitique et pélitique en petit lit, parfois de type laminite, avec quartz, plagioclase, micas (séricite et chlorite), tourmaline, apatite, etc...	Le milieu de la formation, comprend des bancs de grès verts à bleutés souvent micacés	3
429941	988	k1	Formation schisto-gréseuse vert-brun du Marcou. Précambrien à Cambrien inférieur gréseux des unités de Brusque, de Mélagues-Marcou, de Saint-gervais et de la vallée de la Mare (Les Sucs, Castanet)	La partie inférieure de la série est à dominante psammitique et pélitique en petit lit, parfois de type laminite, avec quartz, plagioclase, micas (séricite et chlorite), tourmaline, apatite, etc...	Le milieu de la formation, comprend des bancs de grès verts à bleutés souvent micacés	3
429943	988	1a	Microgranite en filon			0
429958	988	o1c-2	Roches ultrabasiques serpentinisées, Unité Supérieure des Gneiss	Chlorite + les minéraux de péridotites initiales sont en général complètement transformés en serpentine et magnétite. Il subsiste parfois de l'Olivine, plus rarement de l'enstatite et des spinelles	Le plus souvent ces roches sont schisteuses et riches en lamelles de chlorite disposées dans la schistosité	2
429961	988	k1-2	Alternances de base du Cambrien inférieur : carbonatées et volcano-détritiques à Archaeocyathus dans l'unité de Brusque, grés-schisto-carbonatées à Olenopsis dans les unités de Mélagues-Marcou et d'Avène-Mendic. Versant nord de la zone axiale.			6
429964	988	k2b2	Calcaires schisteux noirs à Archaeocyathus, silex au toit. Cambrien inférieur de l'unité de Brusque, versant nord de la zone axiale.			6
429966	988	k3	Schistes sériciteux, schistes quartzeux, Unité Para-autochtone	D'Ouest en Est, la composition minéralogique varie et on peut distinguer: des schistes à chlorite, des micaschistes à biotite, des micaschistes à grenat, des micaschistes à staurotite et des micaschistes à staurotite et andalousite	Ce sont des roches bien litées, ds lesquelles on note la grande abondance de filons pluricentimétriques à métrique de quartz.	3
429966	988	k3	Schistes sériciteux, schistes quartzeux, Unité Para-autochtone	D'Ouest en Est, la composition minéralogique varie et on peut distinguer: des schistes à chlorite, des micaschistes à biotite, des micaschistes à grenat, des micaschistes à staurotite et des micaschistes à staurotite et andalousite	Ce sont des roches bien litées, ds lesquelles on note la grande abondance de filons pluricentimétriques à métrique de quartz.	3
429968	988	k2-3	Roches ultrabasiques serpentinisées, Unité Supérieure des Gneiss	Chlorite + les minéraux de péridotites initiales sont en général complètement transformés en serpentine et magnétite. Il subsiste parfois de l'Olivine, plus rarement de l'enstatite et des spinelles	Le plus souvent ces roches sont schisteuses et riches en lamelles de chlorite disposées dans la schistosité	2



Geosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

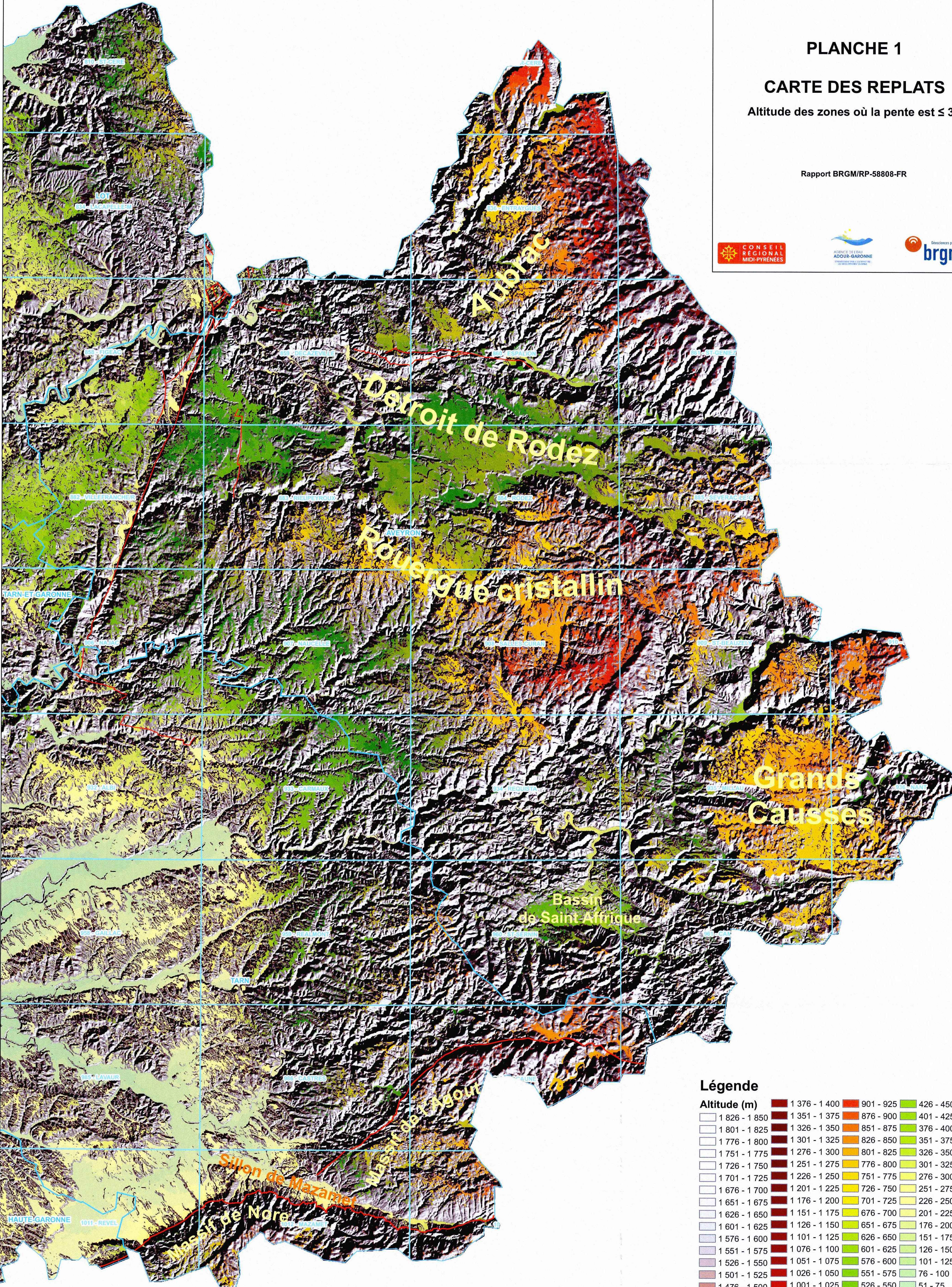
Service géologique régional Midi-Pyrénées
3, rue Marie Curie, Bât Aruba
BP 49
31527 – Ramonville-Saint-Agne- Cedex- France
Tél. : 05 62 24 14 50

PLANCHE 1

CARTE DES REPLATS

Altitude des zones où la pente est $\leq 3,5^\circ$

Rapport BRGM/RP-58808-FR



Légende

Altitude (m)	1 376 - 1 400	901 - 925	426 - 450
1 826 - 1 850	1 351 - 1 375	876 - 900	401 - 425
1 801 - 1 825	1 326 - 1 350	851 - 875	376 - 400
1 776 - 1 800	1 301 - 1 325	826 - 850	351 - 375
1 751 - 1 775	1 276 - 1 300	801 - 825	326 - 350
1 726 - 1 750	1 251 - 1 275	776 - 800	301 - 325
1 701 - 1 725	1 226 - 1 250	751 - 775	276 - 300
1 676 - 1 700	1 201 - 1 225	726 - 750	251 - 275
1 651 - 1 675	1 176 - 1 200	701 - 725	226 - 250
1 626 - 1 650	1 151 - 1 175	676 - 700	201 - 225
1 601 - 1 625	1 126 - 1 150	651 - 675	176 - 200
1 576 - 1 600	1 101 - 1 125	626 - 650	151 - 175
1 551 - 1 575	1 076 - 1 100	601 - 625	126 - 150
1 526 - 1 550	1 051 - 1 075	576 - 600	101 - 125
1 501 - 1 525	1 026 - 1 050	551 - 575	76 - 100
1 476 - 1 500	1 001 - 1 025	526 - 550	51 - 75
1 451 - 1 475	976 - 1 000	501 - 525	26 - 50
1 426 - 1 450	951 - 975	476 - 500	1 - 25
1 401 - 1 425	926 - 950	451 - 475	-2 - 0

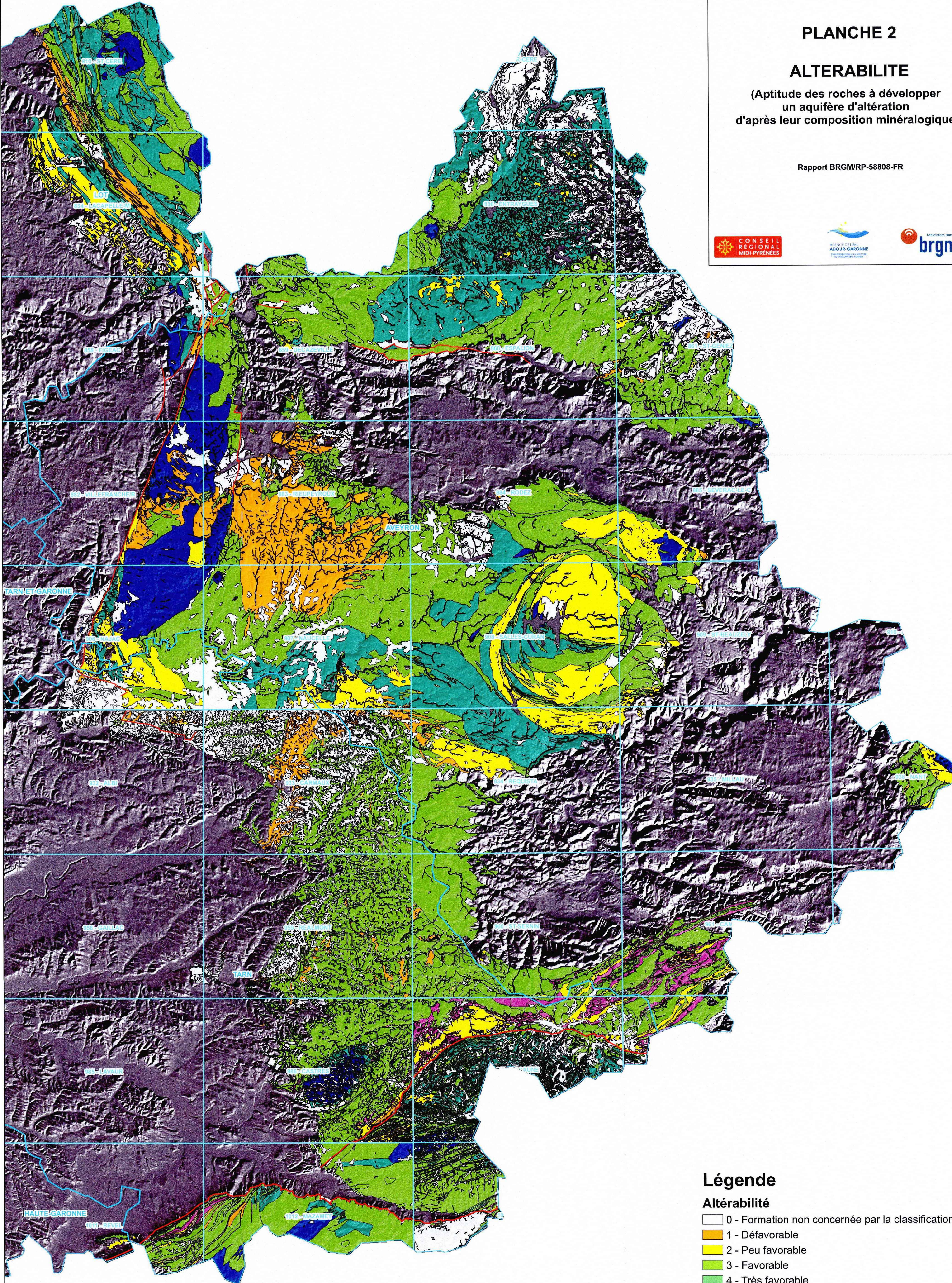
— Faïlle — Faïlle inverse, chevauchement

PLANCHE 2

ALTERABILITE

(Aptitude des roches à développer
un aquifère d'altération
d'après leur composition minéralogique)

Rapport BRGM/RP-58808-FR



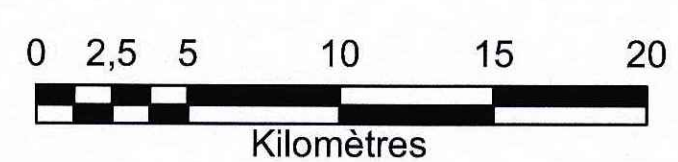
Légende

Altérabilité

- 0 - Formation non concernée par la classification
- 1 - Défavorable
- 2 - Peu favorable
- 3 - Favorable
- 4 - Très favorable
- 5 - Extrêmement favorable
- 6 - Formation carbonatée paléozoïque
- Faille — Faille inverse, chevauchement

Age présumé de l'altération

Rapport BRGM/RP-58808-FR



E - Altération Eocène
 Cr-E - Altération Crétacé inférieur reprise à l'Eocène
 CI - Altération Crétacé inférieur
 AL - Altération antérieure au Lias

— Faille — Faille inverse, chevauchement

PLANCHE 4

POTENTIEL
AQUIFERE

d'après l'altérabilité et l'âge de l'altération

Rapport BRGM/RP-58808-FR



Légende

Potentiel hydrogéologique

- 0 - Formations non concernées par la classification
- 1 - Défavorable
- 2 - Peu favorable
- 3 - Favorable
- 4 - Très favorable
- 5 - Extrêmement favorable
- 6 - Formations carbonatées paléozoïques
- Faille — Faille inverse, chevauchement

