

Outils d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie (nappes alluviales et thermalisme) dans la région Midi- Pyrénées

Rapport final

BRGM/RP-55888-FR

Octobre 2007



Outils d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie (nappes alluviales et thermalisme) dans la région Midi-Pyrénées

Rapport final

BRGM/RP-55888-FR

Octobre 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2005 PSP03MPY21

M. Ghyselinck-Bardeau, A. Wuilleumier

Avec la collaboration de
A. Desplan, P. Monnot

Vérificateur :

Nom : Alain Desplan

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Approbateur :

Nom : P. Roubichou

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : géothermie, chaleur, nappes, eaux souterraines, température, énergie, sources, potentialités, productivité, physico-chimie

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
GHYSELINCK-BARDEAU M., WUILLEUMIER A., 2007 – Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse à basse énergie (nappes alluviales et thermalisme) dans la région Midi-Pyrénées – Rapport final –. Rapport BRGM/RP-55888- 307 p., 59 ill., 33 annexes.

Synthèse

L'objectif de l'étude est de fournir un outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse à basse énergie qui intéresse plus particulièrement les nappes alluviales et la nappe profonde des Sables Infra-molassiques.

En premier lieu, un point sur le principe de fonctionnement des différents process géothermiques a donc été réalisé. Il est complété par un tour d'horizon de la réglementation existante et par une synthèse des démarches à entreprendre pour la mise en place de telles installations.

Pour répondre à l'objectif de mise en place d'un outil d'aide à la décision, un SIG a été développé en lien avec une base de données géo référencée. La région Midi-Pyrénées a donc été modélisée par des mailles de 500 m de côté, dont 18 620 se situent en domaine alluvial et 39 281 sont concernées par la nappe des sables Infra-molassiques. Un important travail de collecte, de traitement et de saisie de données a été réalisé et a permis de renseigner chaque maille « active » sur la cote du toit et du mur, la piézométrie, le débit d'exploitation, la température et les autres paramètres physico-chimiques limitants de l'aquifère. Une analyse multicritères a ensuite permis d'évaluer le potentiel géothermique ou la recette calorifique des aquifères, ainsi que le degré d'importance des surcoûts d'investissement et de fonctionnement pour l'aquifère des Sables Inframolassiques (SIM). Les résultats de cette classification montrent que :

- pour les nappes alluviales : près d'un tiers du territoire régional présente une nappe alluviale et 85 % de la surface de l'aquifère présentent de bonnes à très bonnes potentialités géothermiques. Ce résultat laisse espérer un développement intéressant des installations de pompes à chaleur.
- pour les SIM : plus de la moitié de la région est couverte par les SIM, dont 75 % présentent de bonnes à très bonnes potentialités géothermiques. Au niveau départemental, la plus grande couverture des SIM se retrouve dans le Gers, puis dans la Haute-Garonne avec 85 à 91 % de surface à bonnes potentialités géothermiques. Les Hautes-Pyrénées, avec 64 % de la surface des SIM à faible potentiel et l'Ariège, avec 32 %, sont les départements où l'aquifère semble le moins intéressant sur une bonne partie de leur extension.

En parallèle à ce travail de détermination du potentiel géothermique des aquifères, un recensement des opérations de géothermie existantes ou ayant fait l'objet d'une étude de faisabilité a été réalisé. Ces opérations concernent aussi bien l'exploitation des Sables Infra-Molassiques, que la mise en place de pompes à chaleur dans les nappes alluviales. Cependant, cet aperçu général et synthétique ne peut prétendre à l'exhaustivité par manque de centralisation de la donnée.

Enfin, une campagne de collecte d'informations a été menée sur les sources et forages d'eau chaude non exploités (SCNE) de la région Midi-Pyrénées. Un questionnaire envoyé auprès des communes concernées a permis de sélectionner 10 points d'eau potentiellement intéressants, qui ont l'objet d'une visite sur site en 2007.

L'ensemble des informations collectées sur les opérations de géothermie et sur les SCNE de Midi-Pyrénées ont été saisies dans une base de données et sont valorisées sous forme de fiches descriptives.

Enfin, un outil d'aide à la décision a été développé à partir d'un SIG (ArcView) lié à une base de données ACCESS. Il permet à l'utilisateur de connaître le potentiel géothermique des nappes alluviales et SIM sur des mailles de 500 m de côté qui couvrent le territoire régional. Cet outil permet également de consulter les informations collectées sur les opérations de géothermie existantes ou abandonnées, ainsi que sur les sources et forages d'eau chaude non exploités.

Cet outil a pour objectif d'apprécier en première approche l'intérêt de mettre en place un projet de géothermie très basse à basse énergie, mais n'a pas vocation à remplacer les études de faisabilité réalisées au droit des sites. Il en va de même pour les projets de valorisation thermique des sources et forages d'eau chaude non exploités.

Sommaire

1. Contexte général	13
2. Objectifs	15
2.1. OBJECTIF GLOBAL DU PROJET	15
2.2. OBJECTIFS DES TRAVAUX PRESENTES	16
3. Rappel sur la géothermie	17
3.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE	17
3.2. DIFFERENTS TYPES DE GÉOTHERMIES ET POTENTIELS D'UTILISATION	17
3.2.1. Géothermie haute énergie (T°C > 150 °C)	17
3.2.2. Géothermie moyenne énergie (T°C : 90 à 150 °C)	18
3.2.3. Géothermie basse énergie (T°C : 30 à 90 °C)	18
3.2.4. Géothermie très basse énergie (T°C < 30 °C)	18
3.3. ETAT DE LA GEOTHERMIE DANS LE MONDE ET EN FRANCE	18
3.4. INTERET DE LA GEOTHERMIE DANS LES DOMAINES DES ECONOMIES D'ENERGIE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE	21
3.5. EXEMPLES D'OBJECTIFS ENERGETIQUES EUROPEENS, NATIONAUX ET LOCAUX POUR LIMITER L'EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE	22
3.6. PRINCIPAUX MECANISMES D'ACCOMPAGNEMENT DU DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE	25
3.7. DESCRIPTION DES USAGES GEOTHERMIQUES EN FONCTION DU TYPE DE RESSOURCE	30
3.7.1. Géothermie Basse Energie – Production directe de Chaleur (Ex. SIM) ..	30
3.7.2. Géothermie Très Basse Energie – Pompe à Chaleurs (Ex. Nappes alluviales)	33
3.8. PROCEDURE TECHNIQUE POUR LA MISE EN ŒUVRE DES PUIITS SUR NAPPE	38
3.9. CONTEXTE REGLEMENTAIRE POUR LA REALISATION DE FORAGES D'EAU DESTINES A L'ALIMENTATION DE POMPES A CHALEUR	39
3.9.1. Le code minier	39
3.9.2. Le code de l'environnement	41

3.10.	REGLEMENTATION DES INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE).....	45
3.11.	LE CODE DE LA SANTE PUBLIQUE.....	46
3.12.	DEMARCHES ADMINISTRATIVES LIEES A LA MISE EN ŒUVRE DE POMPE A CHALEUR SUR NAPPE.....	46
3.13.	ELEMENTS FINANCIERS – COUT D'ACCES A LA GEOTHERMIE.....	47
3.13.1.	Sables Infra-molassique	47
3.13.2.	Nappes alluviales (Pompes à Chaleur).....	47
4.	Rappel sur la géologie et l'hydrogéologie des formations étudiées : alluvial et sables infra-molassiques.....	53
4.1.	RAPPEL SUR LA GEOLOGIE DE LA REGION MIDI-PYRENEES.....	53
4.2.	FORMATIONS ALLUVIALES	55
4.2.1.	Principes généraux de mécanisme de dépôt	56
4.2.2.	Description lithologique des différents niveaux de terrasses rencontrés .	58
4.2.3.	Hydrogéologie	60
4.3.	FORMATION DES SABLES INFRA-MOLASSIQUES.....	63
4.3.1.	Conditions de dépôts.....	63
4.3.2.	Hydrogéologie	63
5.	Opérations de géothermie en Midi-Pyrénées	65
5.1.	AQUIFERE PROFOND DES SABLES INFRA-MOLASSIQUES.....	65
5.2.	NAPPES ALLUVIALES : POMPES A CHALEUR	66
5.3.	AUTRES TYPES D'AQUIFERES	67
6.	Recensement des sources et forages d'eau chaude non exploités de Midi-Pyrénées	69
6.1.	GENERALITES	69
6.2.	BASE DE DONNEES SUR LES SOURCES ET FORAGES THERMO-MINERAUX NON EXPLOITES (STNE ET FTNE).....	70
6.2.1.	Finalités.....	70
6.2.2.	Champs renseignés.....	70
6.2.3.	Origine de la donnée	72
6.3.	VISITE DE 10 SCNE	72

6.3.1. Réalisation d'un questionnaire d'enquête	72
6.3.2. Sources visitées	73
7. Evaluation du potentiel géothermique des deux principaux aquifères de Midi-Pyrénées : nappes alluviales et Sables Infra-molassiques	79
7.1. METHODOLOGIE ET DONNEES DISPONIBLES.....	79
7.1.1. Méthodologie.....	79
7.1.2. Données, modèles et outils	82
7.2. DETERMINATION ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES PARAMETRES NECESSAIRES A LA DEFINITION D'UN POTENTIEL GEOTHERMIQUE.....	85
7.2.1. Géologie simplifiée.....	85
7.2.2. Géométrie des alluvions et des Sables Infra-molassiques.....	86
7.2.3. Piézométrie des aquifères alluviaux et des Sables Infra-molassiques	87
7.2.4. Détermination de la productivité des aquifères	88
7.2.5. Aspects physico-chimiques	101
7.3. CHOIX DES CRITERES PERMETTANT DE DEFINIR LE POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES NAPPES	107
7.4. ESTIMATION DES POTENTIALITES GEOTHERMIQUES DES NAPPES ALLUVIALES ET L'AQUIFERE DES SABLES INFRAMOLASSIQUES : ANALYSE MULTICRITERES	108
7.4.1. Nappes alluviales	108
7.4.2. Sables Infra-molassiques	119
8. Principes et fonctionnement de l'outil d'aide à la décision	128
8.1. PRINCIPES GENERAUX DE CONSULTATION DE L'OUTIL.....	128
8.2. POTENTIALITES GEOTHERMIQUES DES AQUIFERES DE MIDI-PYRENEES	130
8.3. SOURCE ET FORAGES D'EAU CHAUDE NON EXPLOITES	131
8.4. OPERATIONS DE GEOTHERMIE EXISTANTES OU ABANDONNEES	132
9. Conclusion et perspectives.....	135
10. Bibliographie	137

Liste des illustrations

Illustration 1 – Production d'électricité géothermique dans le Monde et en Europe	18
Illustration 2 – Production de chaleur géothermique dans le Monde, en Europe et en France.....	19
Illustration 3 - Nombre de pompes à chaleur géothermales vendues dans quelques pays européens. Source : EHPA (European Heat Pump Association) & EurObser'ER 2005 ¹⁾ Source : EDF 2002	20
Illustration 4 -Évolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur d'activités à climat normal 2002 (source : « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment »).....	21
Illustration 5 - Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2002 (d'après « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment »), IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles	22
Illustration 6 – Conditions d'éligibilité au crédit d'impôts pour l'installation de pompe à chaleur	28
Illustration 7 – Types de pompe pour la production directe de chaleur.....	30
Illustration 8 - © Arene Ile-de-France Tête de puits sur le site géothermique de Chevilly-Larue / L'Haÿ-les-Roses (94).....	31
Illustration 9 – Principes de l'échangeur thermique.....	32
Illustration 10 - Schéma de principe général d'une pompe à chaleur (rapport ALTO).....	33
Illustration 11 - Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur nappe (rapport ALTO)	34
Illustration 12- Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques (© ADEME – BRGM)	35
Illustration 14 – Synthèse sur les différents dispositifs de PAC (source ADEME).....	37
Illustration 15 – Synthèse des principales aides à l'installation d'une PAC	48
Illustration 16 – Synthèse des coûts simulés pour deux habitations situées à Toulouse (Origine : France Géothermie).....	49
Illustration 17: Carte géologique régionale (www.haute-garonne.gouv.fr).....	53
Illustration 18 – Schéma de principe de géométrie des terrasses alluviales.....	56
Illustration 19 - Schéma théorique de la mise en place des terrasses alluviales du complexe Ariège-Hers d'après une synthèse bibliographique.	57
Illustration 20 – Coupe nord-sud des alluvions de la Garonne, à l'ouest de Saint Nicolas de la Grave	58
Illustration 21 – Schéma de principe des directions d'écoulement des nappes alluviales de Midi-Pyrénées.....	62
Illustration 22 – Nombre d'opérations de géothermie recensés dans la BSS en fonction du type d'aquifère	65
Illustration 23 - Evolution des différents dispositifs de PAC entre 2002 et 2006 (données AFPAC).....	66

Illustration 24 – Nombre de PAC Eau/Eau fabriquées, importées et vendues sur le marché français en 2006 (données AFPAC)	67
Illustration 25 – Répartition des sources chaudes non exploitées recensées en fonction des départements	69
Illustration 26 – Liste des champs de la base de données sur les sources chaudes non exploitées et origine de la donnée	72
Illustration 27 – Classement des communes en fonction du potentiel d'exploitabilité des sources chaudes recensées	73
Illustration 28- Liste des sources répondant aux critères de sélection	75
Illustration 29 – Liste des sources visitée par le BRGM en 2007	75
Illustration 30 – Synthèse des informations collectées sur le terrain pour les SCNE et évaluation de leur intérêt géothermique.....	77
Illustration 31 - Extrait du maillage au pas de 500 m sur Toulouse et sa banlieue (fond IGN Scan 100)	80
Illustration 32 : Extrait du maillage : zoom sur Ramonville-Saint-Agne (fond IGN Scan 100)	80
Illustration 33 : Zones couvertes par les modèles de l'Adour, de l'Ariège et du Tarn-et-Garonne	83
Illustration 34 : Classes géologiques retenues lors de la simplification de la carte géologique.....	85
Illustration 35 : Répartition des valeurs de débits en quartiles par bassin versant et géologie simplifiée.....	90
Illustration 36 : Epaisseur moyenne des alluvions et des nappes correspondantes dans les bassins versants de l'Adour, de la Garonne et du Lot	91
Illustration 37 : Description des zones retenues comme étant homogènes en débits.....	92
Illustration 38 : Répartition des valeurs de débits en quartiles par zones considérées comme homogènes en débit.....	95
Illustration 39 : Représentation des débits par terrasses alluviales dans le bassin versant de la Garonne ; méthode des «boîtes à moustaches »	96
Illustration 40 : Représentation des débits par terrasses alluviales dans le bassin versant de l'Adour ; méthode des « boîtes à moustaches »	97
Illustration 41 – Récapitulatif des zones de débit retenues et de leur caractérisation.....	99
Illustration 42 - Répartition des températures en quartiles par zones de température.....	102
Illustration 43: Représentation des températures par zones de température ; méthode des « boîtes à moustaches »	103
Illustration 44 – Tableau de syntyèse des paramètres et critères utilisés pour la définition du potentiel géothermique des aquifères étudiés.....	107
Illustration 45 – Affectation des classes de débits aux différents zones géologiques des nappes alluviales.....	111
Illustration 46 – Grille d'évaluation de la note de ponentialité géothermique des nappes alluviales de Midi-Pyrénées	112

Illustration 47 – Tableau de répartition des notes de potentialités des nappes alluviales	115
Illustration 48 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des nappes alluviales sur la totalité de la région et de 7 départements.....	115
Illustration 49 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des nappes alluviales au sein des mailles actives de la région et de 7 départements	117
Illustration 50 – Analyse multicritères permettant d'évaluer la RECETTE CALORIFIQUE des opérations de géothermie réalisées sur l'aquifère des SIM	121
Illustration 51 – Analyse multicritères permettant d'évaluer l'importance des coûts d'investissement (foration) pour une opération de géothermie exploitant les SIM	122
Illustration 52 – Influence de la salinité (et de la corrossivité) des eaux des SIM sur le surcoût de fonctionnement	123
Illustration 53 – Tableau de la répartition des notes de potentialités des SIM sur la région et 5 départements.....	125
Illustration 54 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des SIM dans la région et les départements de Midi-Pyrénées sur la totalité du territoire	125
Illustration 55 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des SIM dans la région et dans 5 départements dans les mailles actives de l'aquifère	127
Illustration 56 – Menu principal de l'outil d'aide à la décision.....	129
Illustration 57 – Extrait des champs visibles lors de la sélection d'une maille de l'Outil	130
Illustration 58 – Aperçu du menu d'information d'une source d'eau chaude non exploitée	132
Illustration 59 – Extrait de la fenêtre descriptive de opérations de géothermie existantes	133

Liste des annexes

Annexe 1 CCE : Fiches d'opérations standardisées	141
Annexe 2 Garantie AQUAPAC	147
Annexe 3 Devis simulés pour l'installation de PAC sur habitations individuelles (Origine : France Géothermie).....	153
Annexe 4 Annuaire des entreprises de géothermie de Midi-Pyrénées et liste des « Foreurs qualité PAC »	157
Annexe 5 Fiches descriptives des opérations de géothermie de la région Midi-Pyrénées.....	161
Annexe 6 Tableau des sources et forages d'eau chaude non exploités.....	165
Annexe 7 Modèle de questionnaire pour les SCNE	171
Annexe 8 Fiches descriptive des SCNE issue de la base de données.....	179
Annexe 9 Rappels de statistiques et présentation des boîtes à moustaches de Tukey	183

Annexe 10 Extension des zones alluviales et des Sables Infra-Molassiques objets de l'étude.....	189
Annexe 11 Carte géologique simplifiée de la Garonne et de l'Adour	193
Annexe 12 Cartes du toit, du mur, de l'épaisseur, des perméabilités et des transmissivités des sables infra-molassiques	197
Annexe 13 Carte des points utilisés pour la détermination par interpolation du substratum des alluvions.....	209
Annexe 14 Cartes du toit, du mur et de l'épaisseur des alluvions	213
Annexe 15 Cote piézométrique des Sables Infra-molassiques	221
Annexe 16 Carte des points utilisés pour déterminer la piézométrie des nappes alluviales.....	225
Annexe 17 Cote piézométrique des nappes alluviales	229
Annexe 18 Epaisseur des nappes alluviales	233
Annexe 19 Carte des ouvrages disposant d'une donnée de débit en Banque du Sous-Sol qui a été utilisée dans le cadre de l'étude.....	237
Annexe 20 Carte des zones de débit retenues.....	241
Annexe 21 Carte des zones de débit proposées par J-C. Soulé en 1981 sur une partie du domaine alluvial de la Garonne	245
Annexe 22 Carte des points de la banque ADES disposant de données de température dans les zones alluviales étudiées.....	249
Annexe 23 Cartes des zones de température définies pour les nappes alluviales	253
Annexe 24 Calcul des températures des eaux des SIM.....	257
Annexe 25 Calcul des Indices de Ryznar sur les points captant les SIM.....	261
Annexe 26 Zones géochimiques des Sables Infra-Molassiques (données issues de la thèse de L. André).....	265
Annexe 27 Caractérisation de la température des eaux de nappe alluviale	271
Annexe 28 Classes des débits d'exploitaton potentiel des nappes alluviales.....	277
Annexe 29 Potentiel géothermique des nappes alluviales de Midi-Pyrénées.....	281
Annexe 30 Carte de productivité de l'aquifère des SIM (transmissivités interpolées et débits ponctuels).....	285
Annexe 31 Profondeur du toit des SIM.....	291
Annexe 32 Classes de température des eaux des SIM.....	295
Annexe 33 Potentialités géothermiques de la nappe des SIM dans la région Midi-Pyrénées	299

1. Contexte général

Le Thermalisme

Dès le premier âge de l'humanité, les eaux chaudes ont été recherchées par l'homme pour se soigner, et c'est avec l'occupation romaine que les constructions des "Thermes" se sont multipliées dans toute la Gaule.

Après une longue période d'oubli durant le Moyen âge, le thermalisme a connu un regain d'intérêt au XVI^e siècle avec un développement maximal au milieu du XIX^e siècle, favorisé par le développement des transports ferroviaires.

A titre d'exemple, les sources d'Ax les Thermes étaient déjà exploitées à l'époque romaine. Après, une période d'abandon, ces eaux sont de nouveau utilisées à des fins thérapeutiques au 13^e siècle, avec la construction du « bassin de Ladres ».

De même, les eaux de Bagnères de Luchon étaient équipées de thermes onésiens dès l'an 19 avant J-C.

La majorité des stations de Midi-Pyrénées exploitent des ressources localisées issues de roches primaires (granites, schistes) ou secondaires (calcaires, évaporites) fracturées, tandis que certaines sont issues d'aquifères régionaux tels que les formations détritiques infra-molassiques.

A l'heure actuelle, les méthodes d'exploitation des eaux thermo-minérales des Pyrénées, en région Midi-Pyrénées comme dans les régions limitrophes, sont en complète évolution, voire bouleversement. En parallèle à l'abandon d'anciennes installations qui impose aux collectivités une gestion le plus souvent complexe des conséquences sociales et économiques, l'évolution des méthodes et des moyens d'exploitation conduisent à délaisser les nombreuses sources historiques à faible débit au profit d'un nombre restreint de forages à forte productivité.

La région Midi-Pyrénées compte aujourd'hui 38 stations thermales en activité, 42 stations thermales abandonnées et sources thermo-minérales non exploitées.

A l'heure actuelle, aucune des stations en activité ne valorise le potentiel thermique des ressources qu'elles exploitent, pour le chauffage de ses locaux.

Les nappes alluviales des grands cours d'eau de Midi-Pyrénées présentent également un potentiel pour l'utilisation de la géothermie de très basse énergie, telle que les pompes à chaleur. Ces techniques peuvent être utilisées pour le chauffage et la climatisation d'habitats collectifs (pour les aquifères les plus favorables comme les basses plaines) ou de logements individuels (pour les aquifères des moyennes et basses terrasses).

L'exploitation de la chaleur

La France a le privilège de posséder de larges bassins sédimentaires avec des couches géologiques perméables profondes, permettant de prélever de l'eau chaude, d'en extraire des calories et, si nécessaire, d'injecter l'eau exploitée dans le réservoir.

L'énergie contenue dans les terrains superficiels, que ce soit les nappes alluviales, les aquifères peu profonds ou directement dans les niveaux peu profonds du sous-sol, peut être exploitée dans des conditions très intéressantes grâce à la mise en œuvre des Pompes à Chaleur, systèmes thermodynamiques qui pour 1 kW électrique consommé restituent de l'ordre de 3 kW.

Cette ressource énergétique superficielle a la particularité d'être présente et facilement accessible de manière plus ou moins importante, sur l'ensemble du territoire, contrairement à la ressource géothermique profonde.

Avec une production de l'ordre de 200 000 tep (tonnes équivalent pétrole) par an, la contribution de la production de chaleur par géothermie au bilan énergétique national se situe aujourd'hui bien avant celle des énergies solaires ou éoliennes. La géothermie possède également l'avantage d'être une énergie propre qui n'émet pas de rejets polluants, et qui peut se substituer aux énergies fossiles et polluantes notamment en milieu urbain dense.

En Midi-Pyrénées, l'utilisation de la chaleur géothermale a pris un virage à partir de 1967, date à laquelle le forage géothermique de Blagnac a été réalisé par la commune pour le chauffage de la piscine, de locaux municipaux et de logements.

Six forages ont été réalisés avec succès entre 1974 et 1986, période correspondant au développement de la géothermie en France à la suite des chocs pétroliers ; après cette période, très peu d'opérations géothermiques ont été réalisées en France.

Aujourd'hui quatre opérations fonctionnent de façon satisfaisante en région Midi-Pyrénées.

Des synthèses sur les stations thermales et sur les sources thermo-minérales ont été réalisées par le BRGM dans les années 1980 sur sept départements de la région Midi-Pyrénées. Par ailleurs de nombreuses études ont été réalisées dans le cadre de projets d'implantation de procédés de géothermie qui montrent le réel potentiel de ce procédé (thermalisme et/ou chauffage) en Midi-Pyrénées.

La région Midi-Pyrénées, placée dans des conditions géologiques a priori favorables, mérite à l'image de ce qui a été déjà fait en Ile de France et en Aquitaine (et conduit à un certain nombre de réalisations réussies), une évaluation globale de son potentiel.

2. Objectifs

2.1. OBJECTIF GLOBAL DU PROJET

La Géothermie, malgré ses réalisations et ses atouts réels, souffre en Midi-Pyrénées comme dans le reste des régions françaises, d'une forte méconnaissance qui a pour conséquence une relative sous utilisation de cette énergie par rapport à sa capacité de développement (adéquation entre ressources géothermales et besoins thermiques).

Cette méconnaissance provient de différentes causes, notamment d'un déficit d'information certain et d'un manque de données aisément accessibles et adaptées aux besoins des acteurs potentiels de la géothermie.

Or il existe actuellement en France une forte opportunité pour le développement des énergies renouvelables en général et de la géothermie en particulier.

C'est pourquoi, il paraît nécessaire et opportun d'engager en région Midi-Pyrénées une démarche ayant pour objectif principal de mettre à disposition des décideurs politiques, des industriels et des particuliers, des informations objectives et concrètes permettant aux acteurs potentiels de la géothermie de pouvoir envisager l'utilisation de cette énergie.

Ainsi, tant au niveau de la définition de la politique régionale et locale de l'urbanisme et du thermalisme, que lors des études préalables à la construction ou à la rénovation de logements ou de toute autre installation ayant des besoins de chaleur, les décideurs publics ou privés doivent disposer des éléments techniques nécessaires pour orienter leur choix énergétique en tenant compte de la géothermie.

Pour répondre aux spécificités du milieu naturel régional, l'étude visant au développement de la géothermie en Midi-Pyrénées est organisée en deux volets distincts :

- Présentation des moyens nécessaires à l'optimisation de l'utilisation de l'énergie géothermique des sites thermaux
- Mise en place d'un outil de décision sur l'énergie géothermique, basé sur les aquifères superficiels

Concrètement, pour chacun de ces deux volets, les actions suivantes sont mises en œuvre :

- Synthèse des connaissances (recueil des études, travaux, réalisations, et bilan)
- Caractérisation du potentiel géothermique

- . Evaluation des ressources,
- . Estimation des besoins actuels et futurs.
- Description des moyens de production de l'énergie
- Approche économique de la production d'énergie
- Analyse multicritères des données permettant de classer les zones géographiques en fonction de leur intérêt.

Les principaux documents remis seront :

- Un document synthétique compréhensible de tous, présentant la géothermie en Midi-Pyrénées (classé illustré, divisé en thématiques particulières).
- Un atlas régional facilement exploitable constituant l'outil d'aide à la décision pour la géothermie superficielle en Midi-Pyrénées.

2.2. OBJECTIFS DES TRAVAUX PRESENTES

Le présent rapport est un rapport intermédiaire visant à diffuser les premiers résultats de l'étude. Il présente notamment :

- Un rappel sur la géothermie, et notamment les aspects techniques et financiers
- Un bilan provisoire des opérations de géothermie existantes ou ayant fait l'objet d'une étude de faisabilité et exploitant la nappe des sables infra-molassiques,
-
- les premiers résultats de l'évaluation du potentiel géothermique des aquifères de Midi-Pyrénées, à savoir, la cartographie de la géométrie des aquifères alluviaux et infra-molassiques, le niveau piézométrique moyen et la productivité estimée de ces aquifères, enfin les caractéristiques physico-chimiques de leurs eaux. La phase d'analyse multicritères sera réalisée au début de l'année 2007.
- Une carte de localisation des sources chaudes non exploitées.

3. Rappel sur la géothermie

3.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

Du grec gèο (terre) et thermos (chaud), la géothermie consiste à exploiter la chaleur stockée dans le sous-sol de notre planète. Cette énergie est potentiellement considérable : 1 km² de roche, sur une profondeur de 10 km, renferme en moyenne une quantité d'énergie équivalant à 15 millions de TEP (Tonne Equivalent Pétrole : 1 TEP \cong 11'630 kWh). Les domaines d'utilisation de l'énergie de la terre recouvrent le chauffage, le rafraîchissement et la production d'électricité.

L'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé "*gradient géothermique*". Il est en moyenne, sur la planète, de 30°C par kilomètre, le flux d'énergie thermique à l'origine de ce gradient étant de l'ordre de 60 mW/m². Ces valeurs peuvent être cependant nettement supérieures dans certaines zones instables du globe, et même varier de façon importante dans les zones continentales stables. Ainsi, le gradient géothermal est en moyenne de 4°C tous les 100 m en France, et varie de 10°C/100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C/100 m au pied des Pyrénées.

La chaleur dégagée par notre globe a pour origine le refroidissement de son noyau, mais également la désintégration des éléments radioactifs présents dans ses roches : uranium, thorium, potassium, etc. 90% de l'énergie dissipée provient en effet de ce mécanisme.

3.2. DIFFERENTS TYPES DE GÉOTHERMIES ET POTENTIELS D'UTILISATION

On distingue plusieurs types de géothermie, en fonction des caractéristiques de la ressource et de l'usage final.

3.2.1. Géothermie haute énergie (T°C > 150 °C)

La géothermie haute enthalpie ou haute température concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures à 150°C. Les réservoirs, généralement localisés au-delà de 1500 mètres de profondeur, se situent dans des zones de gradient géothermique anormalement élevé. Lorsqu'il existe un réservoir, le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.

3.2.2. Géothermie moyenne énergie (T °C : 90 à 150 °C)

La géothermie de moyenne température ou moyenne enthalpie se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90 et 150 °C. Elle se retrouve dans les zones propices à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1000 m. Elle se situe également dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2000 à 4000 mètres. Pour produire de l'électricité, une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire est nécessaire.

3.2.3. Géothermie basse énergie (T °C : 30 à 90 °C)

Elle consiste en l'utilisation de la chaleur, par extraction d'eau chaude contenue dans les aquifères profonds (1500 – 2000 m) des bassins sédimentaires et d'utiliser cette eau directement (via un échangeur de chaleur) pour le chauffage. En France métropolitaine, plus de 30 réseaux de chaleur urbains sont alimentés par ce type de géothermie. Ils permettent d'économiser plus de 160000 TEP/an de combustibles fossiles. En région parisienne, l'eau de l'aquifère profond du Dogger est captée entre 1500 et 1800 m de profondeur, à des températures comprises entre 55 et 85 °C.

3.2.4. Géothermie très basse énergie (T °C < 30 °C)

Elle concerne la production de chaleur et/ou de froid contenue dans les terrains ou les aquifères peu profonds (en général < 100 m). La température exploitée est inférieure à 30 °C (généralement comprise entre 9 et 15 °C). Pour exploiter cette gamme de températures, il est nécessaire de recourir à l'utilisation de pompes à chaleur (PAC). Les PAC peuvent fonctionner sur des dispositifs d'échange et d'extraction d'énergie avec le sol (capteurs horizontaux, profondeur > à 2.0 m), le sous-sol (capteurs verticaux, profondeur généralement inférieure à 100 m), l'eau souterraine des aquifères peu profonds (puits de pompage) ou l'air (intérieur ou extérieur de l'habitat).

3.3. ETAT DE LA GEOTHERMIE DANS LE MONDE ET EN FRANCE

- **Production d'électricité** (Source WGC 2005)

	2000 (MWe)	2004 (MWe)
Monde	7 975	8 900
Europe	996	1 130

Illustration 1 – Production d'électricité géothermique dans le Monde et en Europe

En 2004, on compte 23 pays producteurs d'électricité géothermique dans le Monde.

La France arrive au 16^e rang, avec l'installation de Bouillante en Guadeloupe (15 MWe à fin 2004), juste derrière le Portugal (16 MWe).

Pour l'Europe, on note deux « nouveaux entrants » : Allemagne (0,23 MWe) et Autriche (1,25 MWe), qui ont développé de nouvelles technologies.

L'Italie est le premier pays européen avec 790 MWe installé en 2003 (5 036 GWh) ; elle projette un parc de 950 MWe d'ici 2010.

- **Production de chaleur** (Source WGC 2005)

	2000 (MWth)	2004 (MWth)
Monde	15 145	27 825
Europe	6 517	13 760
France	300	> 308 (hors PAC)

Illustration 2 – Production de chaleur géothermique dans le Monde, en Europe et en France

70 pays ont été recensés en 2005 comme produisant de la chaleur géothermique.

Ce sont les chiffres publiés durant Le Congrès Mondial de Géothermie en avril 2005 (WGC2005). Ils sont indicatifs car les modes de calcul et de présentation des chiffres ne sont pas toujours homogènes d'un pays à l'autre.

Certains intègrent le thermalisme (comme la Hongrie par exemple).

Certains pays n'avaient pas pris en compte le chauffage par pompes à chaleur géothermiques en 2000, mais l'ont intégré en 2004 (exemple le Danemark).

Dans ce classement, la France arrive au 12^{ème} rang mondial, avec 308 MWth. Mais ce chiffre ne concerne que la géothermie basse énergie, hors PAC. Les PAC représentaient une puissance installée de 670 MW en 2003 (Source EurObserv'ER 4^{ème} bilan). Avec les PAC, la France apparaîtrait vers le 6^{ème} rang.

Le doublement de puissance installée en Europe, pour la production de chaleur, est dû en partie au fait qu'à partir de 2004, les PAC ont été intégrées au calcul. Pour la Suède par exemple où on passe de 377 MWth en 2000 à plus de 3 800 MWth en 2004.

- **Pompes à chaleur géothermiques (PAC)**

	2003	2004	2005	% neuf ¹⁾	Population (en million d'habitants)
France (Source AFPAC)	9 000	11 700	13 200	5 %	60
Suisse (Source OFEN)	3 558	4 380	5 128	40 %	7
Suède (Source EHPA)	31 564	39 359	34 563	95 %	8.8

Illustration 3 - Nombre de pompes à chaleur géothermiques vendues dans quelques pays européens. Source : EHPA (European Heat Pump Association) & EurObser'ER 2005
¹⁾ Source : EDF 2002

Le nombre d'unités vendues par pays, comparé à la population de ces pays, laisse imaginer un fort potentiel de développement en France.

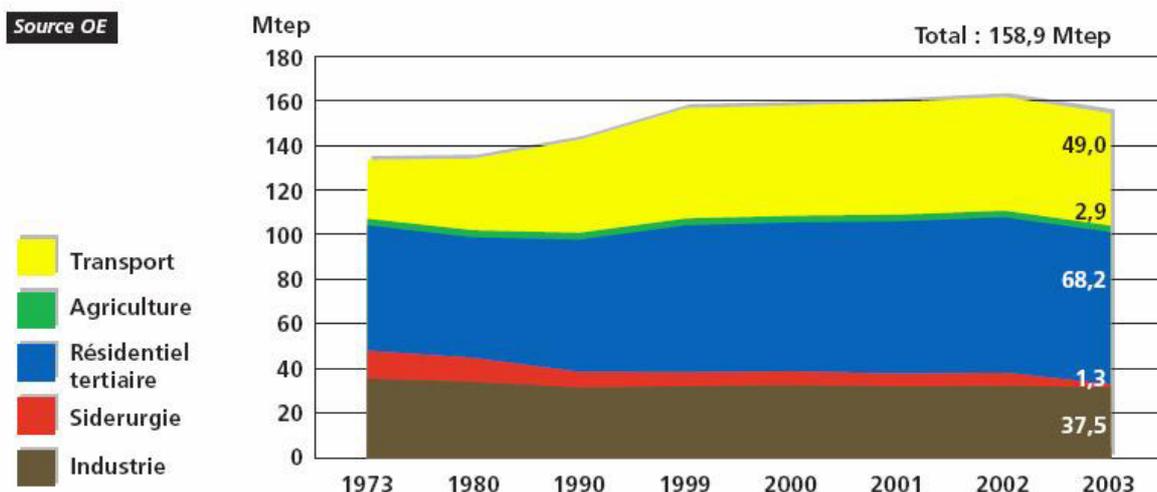
Les installations PAC concernent une large gamme d'habitats ; elles vont du pavillon individuel jusqu'au bâtiment de plusieurs milliers de m².

L'AFPAC évalue la part des pompes à chaleur sur eau souterraine installée dans le logement individuel à environ 10 %. Ce chiffre est certainement beaucoup plus élevé dans le résidentiel et tertiaire. Malheureusement, la France ne dispose actuellement pas de statistiques détaillées dans ce domaine.

3.4. INTERET DE LA GEOTHERMIE DANS LES DOMAINES DES ECONOMIES D'ENERGIE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

La France va être confrontée dans les années à venir à de grands enjeux énergétiques : maîtriser sa consommation énergétique globale, sécuriser ses approvisionnements et diviser par un facteur 4 d'ici 2050 ses émissions de CO₂ pour limiter le réchauffement climatique.

Cependant la consommation finale d'énergie dans le résidentiel - tertiaire continue à augmenter, du fait de l'augmentation du parc (en nombre et en surface) et de l'augmentation du confort (y compris le recours accru à la climatisation durant l'été).



* La consommation d'énergie finale est la quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur final. Elle permet de suivre la pénétration des diverses formes d'énergie dans les secteurs économiques utilisateurs. La consommation à climat normal est la consommation corrigée des effets de température. La consommation observée est appelée consommation réelle.

Illustration 4 -Évolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur d'activités à climat normal 2002 (source : « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment »).

Le secteur du bâtiment produit plus de 20 % des émissions de CO₂ totales en France. Près de 70 % de la consommation d'énergie du résidentiel est liée aux besoins du chauffage. Il y a donc dans ce domaine une source importante d'amélioration qui doit passer tout d'abord par la qualité des bâtiments et par les comportements individuels, mais également par la pénétration des énergies renouvelables dans le Marché et de l'efficacité énergétique des dispositifs de chauffage.

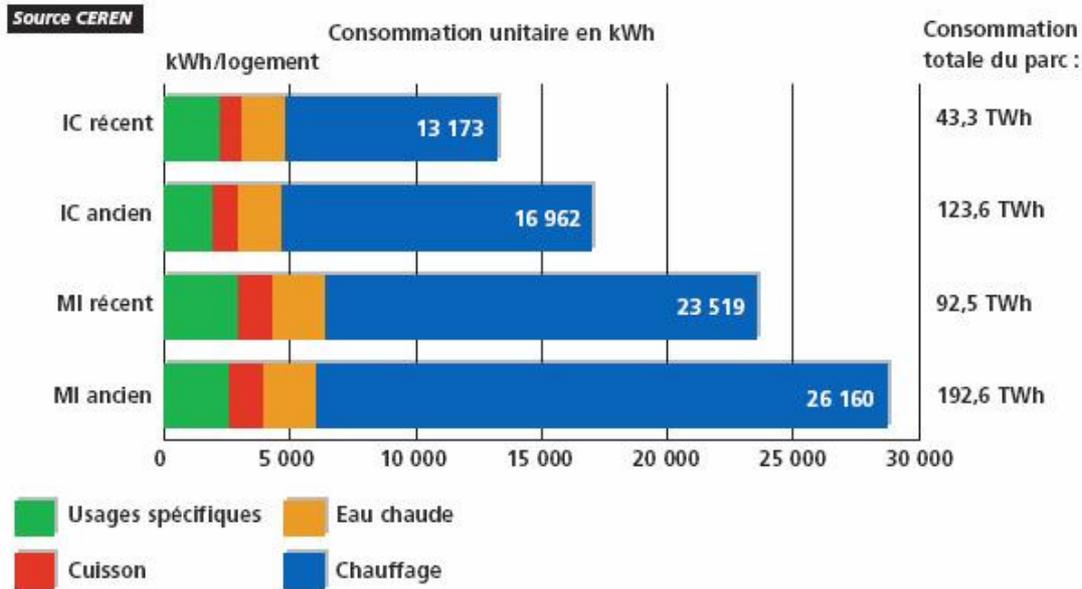


Illustration 5 - Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2002 (d'après « Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment »),
 IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles

La prise de conscience des risques de pollution et de dégradation de la qualité de notre environnement par le biais des émissions de gaz à effet de serre (le protocole de Kyoto) et l'augmentation du prix des hydrocarbures conduisent progressivement à la mise en place de nouveaux objectifs énergétiques, tant au niveau européen, que national ou local.

3.5. EXEMPLES D'OBJECTIFS ENERGETIQUES EUROPEENS, NATIONAUX ET LOCAUX POUR LIMITER L'EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE

- **Directive européenne horizon 2010 :**

Augmenter la part des énergies renouvelables :

-> 20 % pour l'électricité ;

-> 50 % pour la chaleur.

- **Plan National de Lutte contre le Changement Climatique 2000 (PNLCC) :**

Il définit une stratégie nationale, axée sur des actions domestiques, sans recourir aux mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto. Ce plan répartit l'engagement national de stabilisation en matière d'émission de gaz à effet de serre, en attribuant des objectifs différenciés par secteurs : transports, bâtiment, énergie, industrie, agriculture, déchets.

Ce plan devrait permettre à la France de respecter ses engagements internationaux pris dans le cadre du protocole. Mais de nombreuses mesures du PNLCC n'ont pas été mises en œuvre. Des dérives sectorielles ont par ailleurs été constatées dans les secteurs des transports et du bâtiment. C'est pourquoi, pour rendre le PNLCC plus efficace, un Plan Climat a été adopté en juillet 2004.

- **Plan Climat 2004**

L'application du PNLCC ayant été insuffisante pour assurer le maintien des émissions françaises de gaz à effet de serre et en particulier pour enrayer l'augmentation des émissions de certains secteurs, le Plan Climat 2004 est un plan d'action qui doit permettre à la France d'atteindre cet objectif. Il reprend certaines mesures du PNLCC et en introduit de nouvelles. Il engage aussi une réflexion sur la mise en œuvre de mesures d'adaptation aux impacts du changement climatique.

Il retient huit orientations fortes :

- Campagne nationale de sensibilisation et adaptation ;
- Transports durables ;
- Bâtiment et écohabitat ;
- Industrie, *énergie* et déchets ;
- Agriculture durable et forêts ;
- Climatisation durable ;
- Plans climats territoriaux et État exemplaire ;
- Recherche, international et prospective après 2010.

- **Loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique Française (Loi 2005-781 du 13 Juillet 2005 dite loi POPE) et décrets du 23 mai 2006**

Objectifs politiques :

- Contribuer à l'indépendance énergétique ;
- Assurer des prix des énergies compétitifs ;
- Préserver la santé et l'environnement ;

Axes d'action :

- Maîtriser la demande d'énergie ;
- Diversifier les sources d'approvisionnement ;
- Développer la recherche dans les domaines de l'énergie ;

Objectifs chiffrés :

- Diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 3 % par an ;
- Porter la production intérieure d'électricité d'origine renouvelable de 16 % à 21 % de la consommation intérieure d'électricité totale à horizon 2010 ;
- Augmentation de 50 % de la production de chaleur d'origine renouvelable à l'horizon 2015.

- **Programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur (PPI Chaleur)**

La PPI chaleur s'inscrit dans la continuité de la PPI électrique (Programmation Pluriannuelle des Investissements de production électrique), dont le rapport devrait être publié prochainement.

La PPI chaleur a été préparée par un groupe de travail regroupant les principaux organismes concernés, producteurs d'énergie, représentants des réseaux de chaleur (l'ADEME et le BRGM y étaient représentés), ce qui permettrait d'avoir une vision globale du paysage énergétique français en ce qui concerne la chaleur. Cette PPI chaleur est élaborée en application de la loi de programme du 13 juillet 2005 qui fixe les orientations pour l'énergie et plus précisément de ses articles 4 et 50.

La période de programmation fixée par la loi est l'horizon 2010, mais comme pour les autres PPI, la prospective devrait s'étendre jusqu'à 2015.

Les usages de l'énergie qui relèvent de la chaleur sont notamment le chauffage, l'eau chaude sanitaire dans le résidentiel et le tertiaire, ainsi que la chaleur-process (dans l'industrie et l'agriculture notamment).

Ainsi, ce dispositif ouvre à d'autres acteurs (collectivités publiques et territoriales notamment) la possibilité de participer à la réalisation d'économies d'énergie.

3.6. PRINCIPAUX MECANISMES D'ACCOMPAGNEMENT DU DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

- **Certificats d'économie d'énergie (CEE)**

La loi POPE met place un mécanisme déjà éprouvé par ailleurs, en particulier en Angleterre : **les certificats d'économie d'énergie (CEE)**. Ce dispositif repose principalement sur l'obligation pour les fournisseurs d'énergie de déclencher chez leurs clients la réalisation d'économies d'énergie.

Le but des CEE est de relancer les économies d'énergie là où existent des gisements importants, mais diffus et difficiles d'accès (notamment dans les secteurs résidentiels et tertiaires), en mobilisant les acteurs du Marché (offre/demande) sans recourir à des subventions. Il s'agit donc d'un nouveau mécanisme de financement des projets d'efficacité énergétique adapté à un Marché libéralisé venant en complément d'outils publics existants (crédits d'impôt, subventions...).

Grâce à la création d'un véritable Marché de l'efficacité énergétique, le dispositif des CEE devrait ainsi permettre d'injecter 500 à 1000 millions d'euros dans les trois années à venir. Seule serait définie la période de rodage du dispositif (2006-2008) à l'issue de laquelle 54 TWh d'économie d'énergie devront avoir été réalisés. Cet objectif de 54 TWh représente environ 2,13 TWh d'économie par an, soit 0,14 % de la consommation française annuelle totale, dont 1 TWh pour les réseaux de chaleur ou de froid.

Principe du dispositif CEE : l'obligation d'économie d'énergie s'impose aux principaux opérateurs (EDF, GDF, CPCU, etc.) qui fournissent au moins 400 GWh d'énergie finale par an (ce qui représente une vingtaine d'obligés).

Les fournisseurs de fioul sont également soumis à obligation. Cependant, le Marché étant constitué d'une myriade de petites entreprises, la loi POPE a prévu explicitement une possibilité de regroupement. Pour l'instant, les fournisseurs de carburants ont été exclus du dispositif.

Pour s'acquitter de cette obligation, les opérateurs disposent de trois voies possibles (variantes) :

- Investir sur leur propre patrimoine ;
- Inciter, par de la sensibilisation ou l'octroi d'aides financières, les clients (particuliers, petites entreprises, collectivités locales...) à réaliser des investissements économies en énergie ;
- Acheter des certificats d'économie d'énergie auprès d'autres acteurs (dits éligibles).

C'est pourquoi ce dispositif s'accompagne de la mise en place d'un Marché de CEE.

L'offre de certificats provient de toute personne morale (acteur éligible) présentant un programme d'actions de taille suffisante (au moins 3 GWh d'économies d'énergie finale réalisées par programme, actualisées sur toute la période du programme

présenté). Le dossier devra être validé par les DRIRE (Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement).

La demande de certificats vient des « Obligés », qui doivent atteindre leurs objectifs d'économies d'énergie fixés par décret, en complétant éventuellement leurs propres économies par l'achat de certificats auprès d'acteurs éligibles. Ainsi, ce dispositif ouvre à d'autres acteurs (collectivités publiques et territoriales, notamment), la possibilité de participer à la réalisation d'économies d'énergie.

Le CEE est immatériel, il est inscrit dans un registre national et peut faire l'objet de tractations négociées. Les certificats d'économies d'énergie concernent la géothermie, puisque le bénéfice des CEE a été élargi aux énergies renouvelables pour le chauffage des bâtiments, lorsqu'elles viennent se substituer aux énergies fossiles. C'est le cas de la géothermie sur réseaux de chaleur.

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie devrait ainsi constituer une source de financement appréciable permettant de lancer de nouveaux projets de géothermie, sachant que les premières évaluations de projets potentiels ont montré que parmi les actions standards proposées, la géothermie sur réseaux de chaleur offrait les coûts de certificats parmi les moins élevés.

- **Opérations standardisées**

Le décret du 23 mai 2006, relatif aux conditions d'application des certificats d'économies d'énergie, a introduit la notion d'opérations standardisées : un calcul forfaitaire, attribué pour une installation nouvelle type, par rapport à une situation de référence. Les économies réalisées permettent aux obligés de revendiquer des certificats. Le dispositif est entré en vigueur le 1^{er} juillet 2006.

Les CEE sont comptabilisés en kWh CUMAC d'énergie finale économisée. L'abréviation CUMAC provient de la contraction de « cumulé » et « actualisés » car le kWh est ramené à la durée de vie du produit et actualisé au marché. Dans la pratique cela revient à imaginer ce qui aurait été consommé si les actions n'avaient pas été entreprises. Se pose alors le problème de la vérification des données dans le temps. Les économies réellement effectuées pourraient être inférieures ou supérieures à ce qui était supposé. Un système de suivi annuel est donc prévu pour recadrer les estimations.

L'article 2 du décret précise que les « opérations standardisées d'économies d'énergie sont définies par arrêtés du ministre chargé de l'énergie ». À ce titre, la DGEMP a confié à cinq groupes de travail (industrie, bâtiment, résidentiel et tertiaire, service énergétique, transport, collectivités territoriales et ENR) l'établissement de fiches-types de ces opérations standardisées sous la houlette de l'ATEE (Association Technique Energie Environnement) et de l'ADEME (Agence gouvernementale De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie).

À l'heure actuelle, 2 fiches concernent les pompes à chaleur géothermiques :

- Système eau/eau en résidentiel ;
- Système eau/eau pour le tertiaire ;

Un autre système concerne la géothermie : production de chaleur renouvelable en réseau (France métropolitaine).

Les trois fiches types adaptées à la géothermie sont données en annexe 1.

Le gouvernement compte sur la première période (2006-2008) pour installer et tester le système. Un bilan sera établi à l'issue des trois ans. En attendant certains textes doivent encore être publiés avant la mise en route du dispositif. Trois décrets relatifs aux obligations des fournisseurs, à la tenue du registre des CEE et aux modalités de délivrance des certificats sont en cours de réalisation.

- **Loi de finances 2006**

En 2005, la loi de finances accordait 40 % de crédit d'impôt pour les pompes à chaleur géothermiques (ayant un COefficient de Performance (COP) supérieur ou égal à 3).

La loi de finances 2006 porte ce crédit d'impôt à 50 % pour l'achat de pompes à chaleur géothermique dont le COP est supérieur ou égal à 3.

Le crédit d'impôt porte sur le prix des équipements et des matériaux, hors main d'œuvre (travaux de forage et pose des sondes ou de la pompe par exemple). L'installation doit être réalisée par une entreprise et une facture (ou une attestation fournie par le vendeur ou le constructeur du logement neuf), qui porte la mention des caractéristiques requises dans l'arrêté, doit être établie pour les services fiscaux.

En cas d'aide publique supplémentaire à l'investissement (Conseil Régional, Conseil Général, Agence nationale de l'habitat (ANAH)...), par exemple pour l'achat d'équipements permettant d'utiliser les énergies renouvelables ou les pompes à chaleur, le calcul du crédit d'impôt se fait sur le coût des équipements déductions faites des aides publiques, selon les modalités qui seront définies dans l'instruction fiscale.

Les particuliers peuvent également profiter du taux réduit de TVA (5,5 %) appliqué par les entreprises qui vendent le matériel et en assurent la pose, à condition que la pompe à chaleur soit installée dans une résidence principale ou secondaire achevée depuis plus de deux ans.

Pompes à chaleur dont la finalité essentielle est la production de chaleur.	Caractéristiques et performances
Pompes à chaleur géothermiques et pompes à chaleur air/eau	COP \geq 3 selon les dispositions de l'arrêté du 12 décembre 2005.
Pompes à chaleur air/air	Éligibles selon les dispositions de l'arrêté du 12 décembre 2005.

Illustration 6 – Conditions d'éligibilité au crédit d'impôts pour l'installation de pompe à chaleur

Pour un même contribuable, le montant des dépenses donnant droit au crédit d'impôt en faveur du développement durable ne peut excéder la somme de 8000 € pour une personne seule et de 16000 € pour un couple. Ce plafond est majoré pour tenir compte de la situation de famille du contribuable. Ces montants sont majorés de 400 € par personne à charge (dont le premier enfant) au sens des articles 196 à 196 B du Code général des impôts. Cette majoration est portée à :

- 500 € pour le second enfant ;
- 600 € par enfant à compter du troisième.

- **Garantie AQUAPAC®**

Pour palier à l'incertitude locale sur la présence et/ou la pérennité de la nappe d'eau souterraine, la garantie Aquapac® a été initiée en 1983 sous l'égide de l'ADEME (AFME à l'époque), d'EDF et du BRGM.

Elle offre une double garantie portant sur les ressources pérennes en eau souterraine :

- La garantie « recherche » couvre le risque d'échec consécutif à une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux de cotisation pour cette garantie est désormais de 5 %¹ du montant des ouvrages garantis en recherche ;
- La garantie « pérennité » couvre le risque de diminution du débit exploitable à terme qui serait liée à une détérioration prouvée de la ressource (non considérées les variations saisonnières du débit et/ou les cycles hydrologiques statistiquement normaux). La durée de cette garantie est de 10 ans², et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4 % du montant des ouvrages garantis en pérennité. Cette garantie est limitée aux installations d'une puissance thermique de 30 kW minimum.

La gestion de la garantie est confiée à la SAF Environnement³. L'instruction des dossiers de demande de garantie et la décision d'octroi de garantie sont décidées par un comité Aquapac composé de trois représentants de : l'ADEME, de EDF et du BRGM. Ce comité se réunit périodiquement, avec la participation de la SAF Environnement. Il statue également sur la recevabilité des éventuels sinistres.

Plus récemment, des mécanismes financiers ont été mis en place pour la production de chaleur géothermique, aides à laquelle la filière Géothermie Très Basse Énergie peut prétendre accéder.

- **Conclusions**

Toutes les mesures progressivement mises en place sont favorables au développement de la géothermie en général, des pompes à chaleur géothermiques utilisées dans le neuf ou dans la rénovation, pour assurer les besoins de chaleur et de rafraîchissement en particulier.

Les pompes à chaleur géothermiques contribuent en effet à la réduction des consommations d'énergies fossiles, à la valorisation énergétique (par leur COP) et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

¹ Le taux initial de 10 % a été abaissé à 5 % depuis le 1^{er} septembre 2005.

² La durée initiale de la garantie était de 5 ans et a été portée à 10 ans en 1997.

³ SAF Environnement, 195 boulevard Saint-Germain, 75007 Paris tél : 01 58 50 76 76

3.7. DESCRIPTION DES USAGES GEOTHERMIQUES EN FONCTION DU TYPE DE RESSOURCE

3.7.1. Géothermie Basse Energie – Production directe de Chaleur (Ex. SIM)

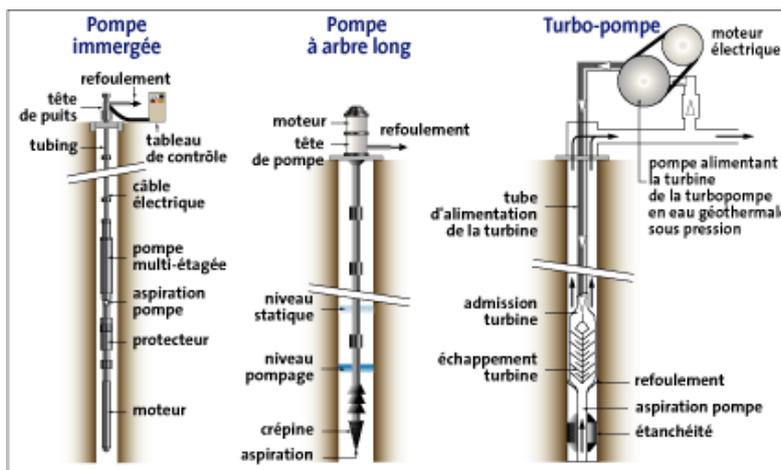
La production directe de chaleur est possible pour des températures supérieures à 20°C.

Le dispositif de pompage

Une installation géothermique opérationnelle nécessite un débit d'eau aussi régulier que suffisant. Si la pression dans le réservoir souterrain est supérieure à la pression atmosphérique, l'eau peut jaillir naturellement à la tête du puits de forage qui se suffit alors à lui-même, prenant le nom de puits artésien. Mais si cette pression n'est pas assez importante ou si l'eau ne remonte pas du tout, il devient nécessaire d'avoir recours à un dispositif de pompage.

Quel que soit leur type, toutes les pompes mises en œuvre comportent une partie hydraulique immergée descendue en profondeur (- 100 mètres à - 400 mètres) et un moteur. Ce dernier peut être immergé sous le dispositif hydraulique (pompes immergées) ou placé en surface (pompes à arbre long). Il peut enfin, dans certains cas, fonctionner grâce à une circulation d'eau géothermale surpressée en surface : c'est le principe de la turbo-pompe.

Bien que son rendement énergétique soit inférieur aux deux autres, une turbo-pompe a une durée de vie supérieure aux pompes immergées. Pour les sites où l'eau est renvoyée dans le réservoir (doublet), une pompe de réinjection installée en surface s'avère indispensable.



© BRGM im@gé

Illustration 7 – Types de pompe pour la production directe de chaleur

Les pompes immergées sont largement utilisées dans le Bassin parisien pour pomper la nappe du Dogger. Elles permettent d'obtenir des débits importants supérieurs à 300 m³/h. Les pompes à arbre long (140 mètres maximum) sont surtout employées en Islande. Les turbo-pompes sont réputées pour leur longue vie malgré leur faible rendement énergétique.

Pour la réinjection, on utilise des pompes de surface de type classique. Ces dispositifs avec pompage sont surtout employés pour les exploitations de basse énergie.

Dans les exploitations de haute énergie, l'eau se vaporise dans le forage, et un mélange eau - vapeur jaillit en surface. Il arrive même – comme à Larderello en Italie ou aux Geysers en Californie – que le gisement produise naturellement de la vapeur sèche.

L'exploitant doit alors réguler la pression en tête de puits pour optimiser les conditions d'exploitation en fonction des caractéristiques du fluide ou de la centrale.



*Illustration 8 - © Arene Ile-de-France
Tête de puits sur le site géothermique de Chevilly-Larue / L'Haÿ-les-Roses (94)*

Les échangeurs de chaleur

La caractéristique essentielle de l'énergie géothermique est qu'elle doit être consommée sur place. Dans le cas d'une source géothermale à haute température, l'énergie du fluide peut être directement transformée en énergie électrique via une turbine et envoyée sur le réseau de distribution électrique.

Dans le cas de la basse énergie, un échangeur est généralement placé entre le circuit

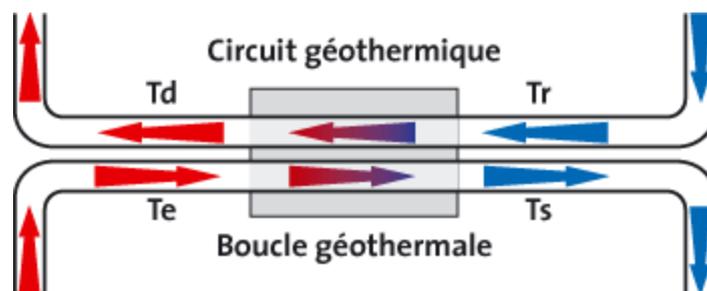
géothermal et le circuit de distribution de chaleur. Cet échangeur est indispensable dans le cas d'une eau corrosive. La chaleur géothermique peut ensuite être utilisée directement.

Si la température de la ressource n'est pas adaptée à l'usage prévu on peut avoir recours à un système de pompe à chaleur.

La performance d'un échangeur placé dans une installation de géothermie est caractérisée par l'écart entre les températures à l'entrée de la boucle géothermale et à la sortie du circuit géothermique.

Cet écart appelé « pincement », doit être aussi faible que possible (de l'ordre de 2°C). La maintenance de ce matériel doit être aisée en raison des risques d'encrassement. Les échangeurs peuvent être de types différents : échangeurs multitubulaires, échangeurs spirales, échangeurs à plaques.

Les meilleures performances sont obtenues avec des **échangeurs à plaques**. Ces matériels sont constitués de plaques embouties de faible épaisseur assemblées verticalement les unes à la suite des autres. Les espaces entre les plaques étant alternativement traversés par le circuit primaire (eau géothermale) et par le circuit secondaire. Ces échangeurs permettent une surface d'échange importante dans un espace réduit. Ils peuvent être agrandis en ajoutant le nombre de plaques nécessaires. Les matériaux utilisés dans les échangeurs doivent pouvoir résister à la corrosion inhérente à la majorité des fluides géothermaux. Ils peuvent être constitués en acier revêtu, en acier inoxydable ou en titane. Ce dernier matériau s'est révélé particulièrement adapté aux exigences d'exploitation du fluide du Dogger du Bassin parisien chargé notamment en sulfures



© BRGM im@gé

Dans la boucle géothermale, l'eau qui sort chaude de la terre tourne en circuit fermé. Cette eau chargée de sels minéraux cède sa chaleur à un autre réseau appelé cette fois circuit géothermique, dans lequel circule l'eau de ville destinée à être réchauffée. Cet échange est nécessaire pour capter des calories tout en évitant la corrosion du réseau de chaleur. Le dispositif est appelé échangeur. Il est constitué soit de plaques, soit de tubes. Les échangeurs à plaques, plus commodes pour la maintenance, sont les plus utilisés

Illustration 9 – Principes de l'échangeur thermique

3.7.2. Géothermie Très Basse Energie – Pompe à Chaleurs (Ex. Nappes alluviales)

La géothermie très basse énergie (TBE), associée aux systèmes de pompes à chaleur, peut apporter une réponse énergétique et environnementale satisfaisante dans le domaine du chauffage (et rafraîchissement) résidentiel et tertiaire (logements, bureaux, commerces).

Une pompe à chaleur permet de prélever de la chaleur à basse température (généralement 9 – 15 °C) dans un milieu et de la restituer à plus haute température dans un autre milieu.

La pompe à chaleur fonctionne selon le cycle thermodynamique suivant :

- La chaleur absorbée au milieu extérieur (eau souterraine ou sondes géothermiques) est transférée au circuit de la PAC par un échangeur (évaporateur) dans lequel un fluide frigorigène se vaporise à basse température ;
- Le compresseur de la PAC (entraîné par un moteur électrique) comprime cette vapeur à haute pression ;
- Par l'échange thermique entre le condenseur et le milieu extérieur (= production de chaleur) la vapeur repasse à l'état liquide ;
- Le détendeur assure le passage du fluide liquide de la haute pression à la basse pression.

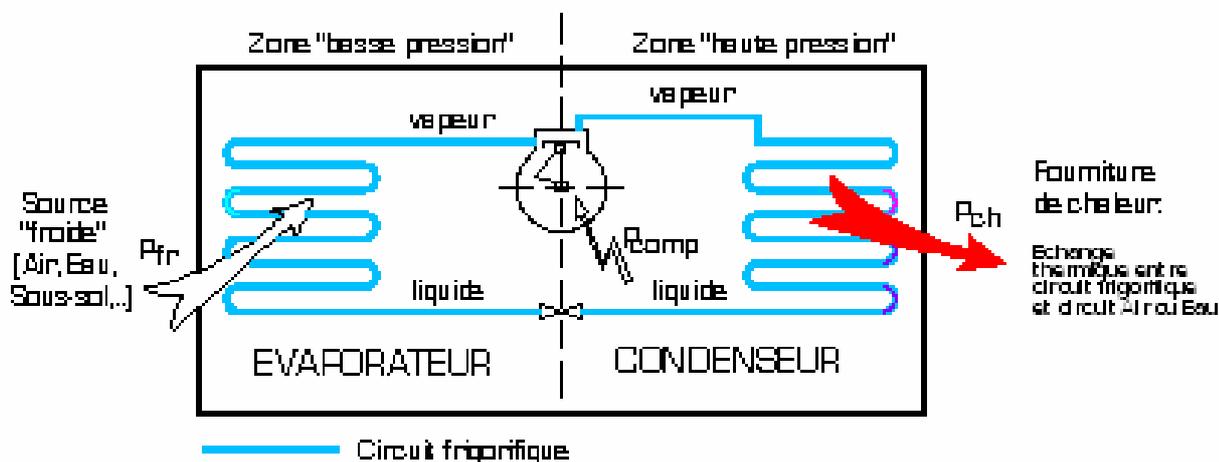


Illustration10 - Schéma de principe général d'une pompe à chaleur (rapport ALTO)

Pompe à chaleur sur aquifère superficiel

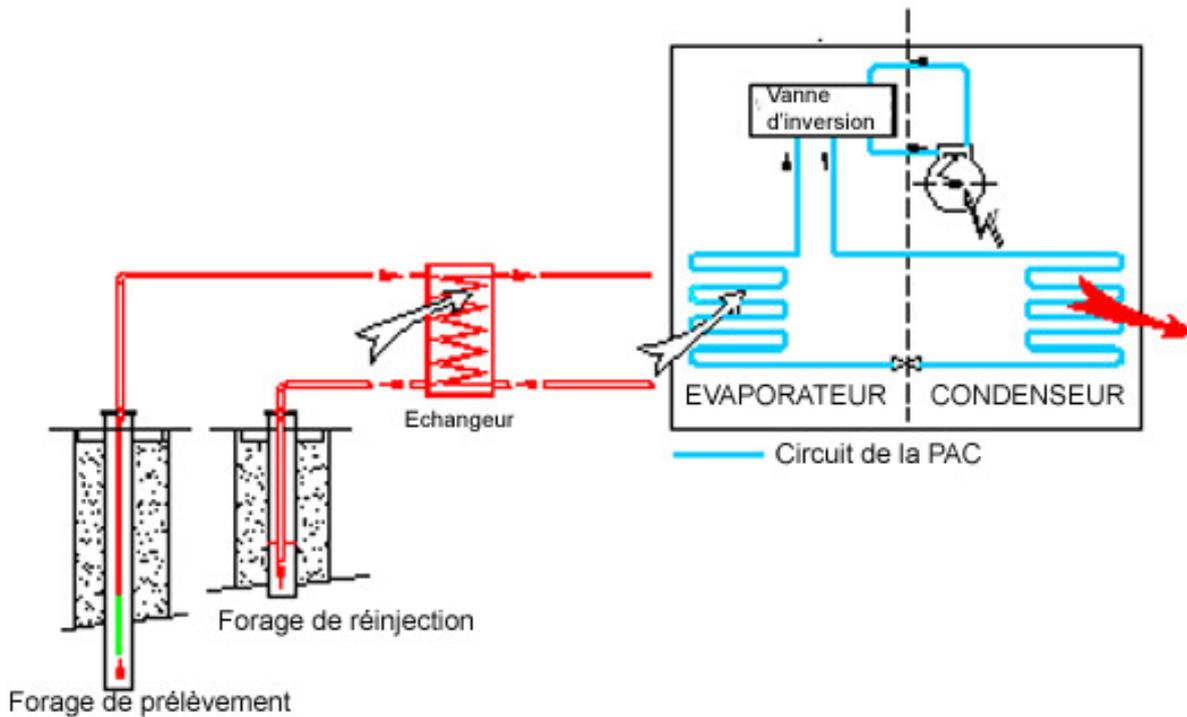


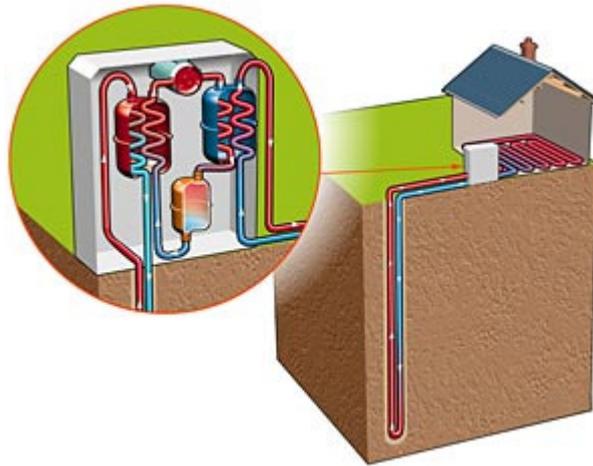
Illustration 11 - Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur nappe (rapport ALTO)

L'alimentation de la pompe à chaleur se fait par l'intermédiaire d'un "forage de prélèvement" d'eau souterraine (nappe phréatique, nappe captive peu profonde, nappe artésienne). En fin de cycle, l'eau est réinjectée dans un "forage de réinjection" (circuit plus ou moins fermé).

En **fonctionnement d'hiver**, la pompe à chaleur géothermique prélève la chaleur contenue dans l'eau souterraine et restitue la chaleur à une température utilisable dans le circuit de chauffage du bâtiment (air, boucle d'eau, chauffage au sol). En **fonctionnement d'été**, une pompe à chaleur réversible permet (en mode rafraîchissement) de prélever l'énergie excédentaire à l'intérieur du bâtiment et de transférer la chaleur excédentaire (chaleur prélevée + la chaleur issue de la puissance du compresseur) dans l'eau souterraine.

Une autre option est le **rafraîchissement direct**, qui consiste à utiliser directement (avec interposition d'un échangeur) l'eau de la nappe pour assurer le rafraîchissement. On by-pass ainsi la pompe à chaleur. Enfin, le fonctionnement en « **thermofrigopompe** » permet la production simultanée de chaud et de froid (destinés aux appareils terminaux qui assurent le traitement d'ambiance des différentes parties du bâtiment). L'eau souterraine constitue la source d'énergie sur laquelle la production vient puiser le chaud ou le froid nécessaire.

Pompe à chaleur sur sondes géothermiques



*Illustration 12- Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques
(© ADEME – BRGM)*

Les capteurs géothermiques verticaux (sondes géothermiques) sont des échangeurs thermiques qui prélèvent, par conduction thermique, la chaleur emmagasinée dans le sous-sol et la transportent vers la pompe à chaleur (PAC), par l'intermédiaire d'un liquide caloporteur (eau glycolée). Ils sont constitués d'un ou plusieurs forages verticaux, de quelques dizaines de mètres de profondeur, parfois plus, dans lesquels sont insérés des tubes en matériau synthétique, en général du polyéthylène haute densité (PEHD), raccordés à la PAC. Ces tubes peuvent être reliés entre eux, soit par une chambre commune, soit deux par deux en double U. Le fluide antigel caloporteur est composé d'eau glycolée (avec l'ajout de 10 – 30 % de monopropylène glycol, pour éviter le gel du circuit), et a la particularité d'avoir un très faible point d'ébullition et donc un grand pouvoir d'absorption de chaleur.

La PAC restitue en surface la chaleur prélevée et pour chauffer une habitation, de préférence au moyen d'un plancher chauffant. Pareillement que la pompe à chaleur sur aquifère superficiel, le système peut être inversé en été pour fonctionner en mode rafraîchissement (cas d'une PAC réversible).

Cette technique est adaptée aux maisons individuelles, à l'habitat individuel groupé, au résidentiel collectif ou au tertiaire. Elle bénéficie d'aides financières publiques (crédits d'impôts, aides aux opérations exemplaires de l'ADEME, aides de l'ANAH,...) et peut se satisfaire de démarches administratives simplifiées qu'il faut cependant connaître et respecter.

Différents types d'exploitation

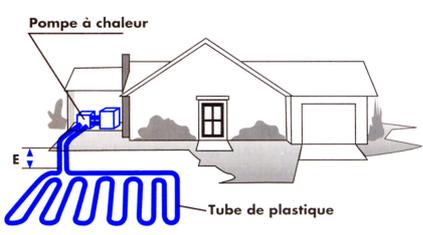
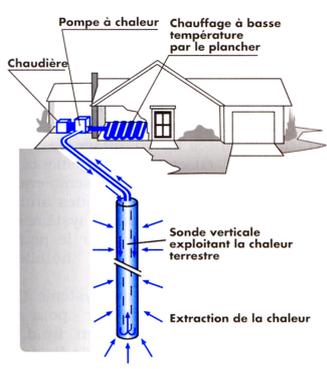
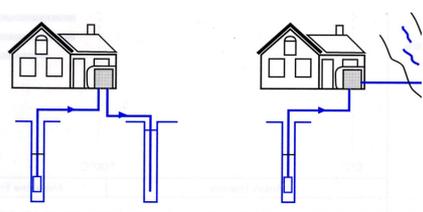
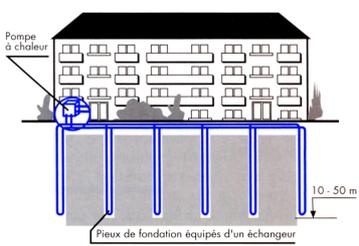
	Profondeur moyenne	Application
 <p>Capteurs horizontaux</p>	0,5 à 1,5 m	Individuel uniquement
 <p>Sonde géothermale appelé aussi Capteur vertical</p>	50 à 100 m Peut atteindre plusieurs centaines de mètres Champ de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de sondes	En individuel En collectif
 <p>PAC sur Aquifères Avec ou sans forage de réinjection</p>	10 à 100 m De quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres	En individuel En collectif
 <p>Géostructures Pieux de fondation équipés d'échangeurs thermiques</p>	5 à 20 m	En collectif ou tertiaire

Illustration 13 – Différents types de procédés pour les PAC

Avantages et inconvénients des différents procédés

Ce tableau de synthèse est extrait du site de l'ADEME.

	PAC sol / sol ou sol / eau	PAC eau glycolée / eau ou eau / eau	PAC air extérieur / eau	PAC air extérieur / air ou air extrait / air neuf
Coût	<ul style="list-style-type: none"> Investissement : de 70 à 100 € TTC par m² chauffé, hors eau chaude sanitaire et rafraîchissement. Fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m² et par an. 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement : <ul style="list-style-type: none"> - systèmes à capteurs horizontaux, de 85 € TTC par m² chauffé (option chauffage) à 135 € TTC par m² chauffé (option chauffage et rafraîchissement) ; - systèmes à capteurs verticaux, de 145 à 185 € TTC par m² chauffé ; - systèmes sur eau de nappe, 80 à 130 € TTC par m² chauffé. 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement : de 65 € TTC par m² à 90 € TTC par m² (chauffé et rafraîchi) ; Fonctionnement : de 2,5 € TTC par m² et par an à 3,7 € TTC par m² et par an. 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement : de 60 € TTC par m² à 90 € TTC par m² (chauffé et rafraîchi) ; Fonctionnement : de l'ordre de 2,5 € TTC par m² et par an à 3,7 € TTC par m² et par an.
Appoint	Pas nécessaire.	<ul style="list-style-type: none"> Fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m² et par an. 	Toujours intégré au système, peu ou pas utilisé dans les systèmes les plus.	Toujours nécessaire.
Eau chaude sanitaire	Production possible.	Production possible.	Préchauffage ou production possibles	Non conçu pour produire de l'eau chaude sanitaire.
Rafraîchissement	Pas possible sur plancher chauffant, possible avec des unités à détente directe.	Possible (sauf si les émetteurs sont des radiateurs) et bien maîtrisé.	Possible (sauf si les émetteurs sont des radiateurs) et bien maîtrisé.	Possible et bien maîtrisé.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Système simple, coût limité pour du géothermique ; adaptée aux climats rigoureux ; existence obligatoire d'un avis technique du CSTB (pompe sol / sol). 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptée aux climats rigoureux ; <u>peu de fluide frigorigène, confiné dans la PAC ;</u> adaptation possible à un réseau de chauffage central existant. 	<ul style="list-style-type: none"> Système simple, coût limité rigoureux ; utilisable en appartement à chauffage individuel ; <u>peu de fluide frigorigène, confiné dans la PAC ;</u> 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisable en appartement à chauffage individuel ; <u>couplage avec la VMC pour les PAC air extrait / air neuf.</u>
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes à capteurs horizontaux seulement ; <u>quantité importante de fluide frigorigène mise en oeuvre (surtout pour la pompe sol / sol) ;</u> exiger une solide expérience de l'installateur. pour la PAC sol/sol, technologie de plancher spécifique. 	<ul style="list-style-type: none"> Système plus coûteux qu'une PAC sol / sol ou sol / eau. Pour les PAC à capteurs verticaux ou sur eau de nappe : <ul style="list-style-type: none"> exiger une solide expérience de l'installateur et du foreur ; démarches et autorisations à envisager ; coût élevé des forages. 	<ul style="list-style-type: none"> adaptation possible à un réseau de chauffage central Exiger des modèles particulièrement performants vérifier le niveau de bruit développé par la PAC. 	<ul style="list-style-type: none"> N'assure pas la production d'eau chaude sanitaire ; nécessite le passage d'un réseau de gaines de soufflage de l'air (dans un faux-plafond ou des combles, accessibles pour les besoins de l'entretien). n'assure pas la totalité du chauffage pour les PAC air extrait / air neuf.

Illustration 14 – Synthèse sur les différents dispositifs de PAC (source ADEME)

3.8. PROCEDURE TECHNIQUE POUR LA MISE EN ŒUVRE DES PUITES SUR NAPPE

La validation d'un projet de pompe à chaleur sur nappe nécessite, en plus des études de conception nécessaires à tout projet une approche spécifique de la connaissance de la ressource en eau souterraine qui sera sollicitée.

Les principales étapes de la mise en œuvre sont les suivantes :

- **Détermination des besoins.**

Il s'agit de déterminer les puissances chaud et froid qu'il faudra fournir au bâtiment.

- **Conversion de ces deux puissances en débit d'eau à prélever sur la nappe ;**
- **Identification préalable de la ressource.**

L'analyse des données de l'atlas et l'estimation du débit nécessaire pour satisfaire tout ou partie des besoins thermiques permettra une première orientation.

Dans l'analyse de l'adéquation besoins/ressources, il n'est pas toujours pertinent de chercher à couvrir la totalité des besoins avec la solution PAC sur nappe. L'analyse du fonctionnement dynamique du bâtiment et des systèmes peut mettre en évidence des fluctuations importantes d'appel de puissance sur de faibles parts du temps de fonctionnement.

- **Etude de faisabilité hydrogéologique.**

Cette étape requiert l'intervention d'un bureau d'étude spécialisé, car il s'agit d'affiner la démarche d'identification préalable de la ressource, en intégrant en particulier le nombre et le dimensionnement préalable des ouvrages, leur positionnement prévisionnel en fonction des contraintes du site,

Une première approche réglementaire peut également être réalisée à ce niveau ; ce qui permettra de connaître les documents administratifs à prévoir.

- **Conception, suivi, réception des travaux en sous-sol.**

Dans cette étape, le bureau d'étude hydrogéologique disposant ou s'associant les compétences d'un expert thermicien intervient en tant qu'assistant à la maîtrise d'œuvre de la phase de conception jusqu'à la réception des travaux. Tant pour les aspects techniques et financiers des ouvrages (forages, équipements, maintenance) que pour la partie administrative et réglementaire.

Enfin, il faut noter qu'il existe une procédure de « garantie sur la ressource en eau souterraine à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques » qui est destinée à couvrir le risque d'aléa sur la ressource et sa pérennité. C'est la procédure AQUAPAC.

Ces différentes étapes doivent être menées en concertation avec les autres intervenants du projet, afin d'obtenir le meilleur ajustement besoin - ressource. Une analyse économique devra comprendre une étude comparative afin de justifier la

solution pompes à chaleur sur nappe, intégrant les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement (énergie, maintenance), ainsi que l'aspect environnemental.

Dans le cas d'opération pour l'habitat individuel

Si les principes de la démarche restent les mêmes, il est rarement fait appel à un bureau d'étude hydrogéologique. C'est sur le savoir faire et l'expérience de l'installateur chauffagiste et du foreur que repose la réussite de l'opération.

Enfin, on peut noter que dans le cas de logements pavillonnaires groupés, il peut être envisagé de mutualiser la ressource, en distribuant l'eau souterraine extraite à chacun des pavillons à partir d'un seul forage (ou groupe de forages).

3.9. CONTEXTE REGLEMENTAIRE POUR LA REALISATION DE FORAGES D'EAU DESTINES A L'ALIMENTATION DE POMPES A CHALEUR

Les principaux textes réglementaires qui peuvent s'appliquer aux forages destinés à l'alimentation de pompes à chaleur sont :

- Le code minier ;
- Le code de l'environnement ;
- Le code de la santé publique.

3.9.1. Le code minier

- **Déclaration ou autorisation pour réaliser un forage**

Aux termes de l'article 131 du code minier, l'obligation de **déclaration** préalable s'impose à tout maître d'ouvrage réalisant un forage dont la profondeur **dépasse 10 m**, quelle que soit sa destination. En deçà de 100 m de profondeur, le forage est soumis au régime de la déclaration simple. Au-dessus de **100 m de profondeur**, il est soumis au régime de l'**autorisation**.

- **Notion de gîte géothermique**

Les gîtes géothermiques, dont on peut soustraire l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et vapeurs qu'ils contiennent, sont considérés comme des mines (art. 3 code minier). Ils sont classés en gîtes à haute température (> 150 °C) et gîtes à basse température (< 150 °C).

- **Exploitation des gîtes géothermiques**

L'exploitation de tels gîtes est soumise à l'obtention d'une **concession minière** (gîtes à haute température) par décret en Conseil d'Etat (code minier, notamment titre II et III, et décret n°95-427) ou d'un **permis d'exploitation**

minier (gîtes à basse température) délivré par la préfecture (Code Minier, articles 98 à 103, et décret n°78-498).

○ **Gîtes à basse température de minime importance**

Dans le cas des gîtes basse à basse température, la réglementation minière prévoit toutefois une dérogation à ces règles, **lorsque deux conditions sont remplies** (décret n°78-498 du 28 mars 1978 – art. 17) :

- La profondeur des forages doit être inférieure à 100 m ;
- Le prélèvement de chaleur souterraine, dont le débit calorifique maximal possible calculé par référence à une température de 20°C, doit être inférieur à 200 thermies par heure.

Si ces **DEUX** conditions sont remplies, on parle alors **d'exploitation géothermique à basse température de minime importance**. Ce type d'exploitation n'est pas soumis à autorisation minière mais à **déclaration**.

Les exploitations de minime importance doivent être déclarées au chef du service interdépartemental de l'industrie et des mines par leur installateur selon les modalités prévues pour les déclarations de fouilles (cf. annexe 1) en application de l'article 131 du code minier. La déclaration est faite, **au plus tard un mois** avant la réalisation des travaux, par lettre recommandée avec demande d'avis de réception. **Elle tient lieu de la déclaration prévue à l'article 131 du code minier** (décret 78-498 du 28 mars 1978 – article 17).

○ **Exploitation d'un gîte géothermique par prélèvement d'eau**

Si toutefois, l'exploitation géothermique se fait par prélèvement d'eau du sous-sol (**que ce soit avec ou sans réinjection d'eau**), le prélèvement peut être soumis à **déclaration ou autorisation au titre de la loi sur l'eau** (voir ci-dessous).

3.9.2. Le code de l'environnement

Partie relative à la loi sur l'eau

- **Prélèvements d'eau soumis à déclaration ou autorisation**

Sont "**soumis à autorisation**" de l'autorité administrative, les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter atteinte gravement à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique.

Sont "**soumis à déclaration**" les installations, ouvrages, travaux et activités qui, n'étant pas susceptibles de présenter de tels dangers, doivent néanmoins respecter les prescriptions édictées en application des articles L. 211-2 et L. 211-3.

Usage domestique de l'eau :

Constituent un usage domestique de l'eau ou est assimilé à un usage domestique de l'eau, au sens de " l'article L. 214-2 du code de l'environnement " :

1. Les prélèvements et les rejets destinés exclusivement à la satisfaction des besoins des personnes physiques propriétaires ou locataires des installations et de ceux des personnes résidant habituellement sous leur toit, dans les limites des quantités d'eau nécessaires à l'alimentation humaine, aux soins d'hygiène, au lavage et aux productions végétales ou animales réservées à la consommation familiale de ces personnes.
2. Tout prélèvement **inférieur ou égal à "1'000 m³/an"**, qu'il soit effectué par une personne physique ou une personne morale et qu'il le soit au moyen d'une seule installation ou de plusieurs", ainsi que tout rejet d'eaux usées domestiques dont la charge brute de pollution organique est inférieure ou égale à 1,2 kg de DBO5."

Tout prélèvement, puits ou forage réalisé à des fins d'usage domestique de l'eau doit faire l'objet d'une **déclaration** auprès du maire de la commune concernée. Les informations relatives à cette déclaration sont tenues à disposition du représentant de l'Etat dans le département et des agents des services publics d'eau potable et d'assainissement (Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006, Art. L. 2224-9).

Usage non domestique de l'eau

Les régimes d'autorisation et de déclaration ont été définis initialement par le décret n°93- 743 du 29 mars 1993 relatif à la Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, lequel a été modifié par le décret n°2006-881 du 17 juillet 2006 actuellement en vigueur.

Le décret n°2006-881 du 17 juillet 2006 précise, dans l'annexe "nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du code de l'environnement" quels ouvrages sont soumis à **déclaration indépendamment des débits prélevés** (rubrique 1.1.1.0) et quels ouvrages sont soumis à déclaration ou autorisation **en fonction des débits prélevés** (rubriques 1.1.2.0, 1.2.1.0, 1.2.2.0, 1.3.1.0).

- **La rubrique 1.1.1.0** concerne tout sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, **non destiné à un usage domestique**, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau. **Ces ouvrages sont soumis à déclaration à la DRIRE.** La déclaration doit se faire par l'installateur à l'aide du formulaire de déclaration de forage (cf. annexe 1). La déclaration doit être faite au plus tard un mois avant la mise en service, par lettre recommandée avec accusé de réception.
- **La rubrique 1.1.2.0** concerne tous les prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, **le volume total prélevé étant :**
 1. **Supérieur ou égal à 200'000 m³/an** : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
 2. **Supérieur à 10'000 m³/an mais inférieur à 200'000 m³/an** : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.

Exceptions liées aux prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L.214-9 du code de l'environnement

- **Rubrique 1.2.1.0.** (décret n°2006-881). A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe :

1. D'une capacité totale maximale supérieure ou égale à **1'000 m³/h** ou à **5 % du débit du cours d'eau** ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
 2. D'une capacité totale maximale comprise entre **400 et 1'000 m³/h** ou entre **2 et 5 % du débit du cours d'eau** ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.
- **Rubrique 1.2.2.0.** (décret n°2006-881). A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, dans un cours d'eau, sa nappe d'accompagnement ou un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe, lorsque le débit du cours d'eau **en période d'étiage** résulte, pour plus de moitié, d'une réalimentation artificielle. Toutefois, en ce qui concerne la Seine, la Loire, la Marne et l'Yonne, il n'y a lieu à autorisation que lorsque la capacité du prélèvement est supérieure à 80 m³/h : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
 - **Rubrique 1.3.1.0.** (décret n°2006-881). A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une **zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées**, notamment au titre de l'article L. 211-2 du code de l'environnement, ont prévu l'abaissement des seuils :
 1. Capacité supérieure ou égale à **8 m³/h** : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
 2. Dans les autres cas : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.
- **Rejet d'eau soumis à déclaration ou autorisation**
 - En cas de rejet dans un réseau ou dans le milieu naturel, l'Arrêté du 23 février 2001 paru en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 (JO n° 49 du 27/02/2001) fixe les prescriptions générales applicables aux rejets soumis à déclaration. **L'article 8 de cet arrêté stipule que la température du rejet ne doit pas excéder 30 °C et que la différence maximale de température entre l'eau prélevée et l'eau rejetée ne doit pas dépasser 11 °C.**
 - Si le dispositif prévoit la **réinjection dans une même nappe** des eaux prélevées pour la géothermie, la capacité totale de réinjection est soumise à (Code de l'environnement, Titre V, art L.214-1, rubrique 5.1.1.0) :
 - Supérieure ou égale à **80 m³/h** : autorisation

- Supérieure à 8 m³/h, mais inférieure à 80 m³/h : déclaration
- o Si le dispositif prévoit la **réinjection dans les eaux douces superficielles** et qu'il est susceptible de modifier le régime des eaux, la capacité totale de rejet de l'ouvrage est soumise à (Code de l'environnement, Titre II, rubrique 2.2.1.0) :
 - Supérieure ou égale à **10'000 m³/j ou 25 %** du débit moyen interannuel du cours d'eau : autorisation
 - Supérieure à 2'000 m³/j ou à 5 % du débit moyen interannuel du cours d'eau, mais inférieure à 10'000 m³/j et à 25 % du débit moyen interannuel du cours d'eau : déclaration.

- **Cas des nappes classées en zone de répartition des eaux**

Dans chaque département concerné, la liste des communes incluses dans une zone de répartition des eaux est constatée par arrêté préfectoral publié au recueil des actes administratifs de la préfecture.

En Ile-de-France, sont classées en zone de répartition des eaux (ZRE), les nappes **de l'Albien, du Néocomien et de Beauce**.

Les seuils d'autorisation ou de déclaration fixés à la rubrique " 1.3.1.0 " de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié par le décret n° 2006-881 du 17 juillet 2006 sont applicables aux ouvrages, installations et travaux permettant un prélèvement dans les zones de répartition des eaux. (Décret n° 94-354 du 29 avril 1994, modifié par le décret n° 2006-881 du 17 juillet 2006, article 2) :

1. Capacité supérieure ou égale à **8 m³/h** : déclaration à la DRIRE et demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau ;
2. Dans les autres cas : déclaration à la DRIRE et déclaration au titre de la loi sur l'eau.

- **Dispositions particulières**

- Lorsque les installations, ouvrages, travaux et activités, qui sont soumis à déclaration, en application du décret n°2006-881 du 17 juillet 2006, **sont situés à l'intérieur du périmètre de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public** qui qu'ils comportent des opérations de sondage ou de travail souterrain, ils sont soumis à l'**autorisation** prévue à l'article L.1322-4 du code de la santé publique (Art. 2 du décret n°93-743 du 29 mars 1993, modifié par le décret n°2006-881).
- **Les conditions d'implantation d'un forage** fixées par l'arrêté ministériel du 11 septembre 2003 relatif à la rubrique 1.1.1.0, articles 3, 4, 7) sont applicables.

Information : Agence de l'eau, BRGM, DDAF, MISE, DDASS, DDE, DIREN, DRIRE, mairies...

- **Les Dispositions techniques spécifiques à l'organisation d'un chantier et de prévention des risques de pollution** fixées par l'arrêté ministériel du 11 septembre 2003 relatif à la rubrique 1.1.1.0, article 6 sont également applicables.

3.10. REGLEMENTATION DES INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE)

L'autorisation d'exploiter délivrée au titre de la législation des installations classées vaut autorisation au titre de la loi sur l'eau.

Aux termes de l'article 14, "l'exploitant prend toutes dispositions nécessaires dans la conception et l'exploitation des installations pour limiter les flux d'eau. Notamment, la *réfrigération en circuit ouvert est interdite sauf autorisation explicite par arrêté préfectoral.*" Bien qu'aucun texte ne définisse la notion de circuit ouvert, **l'utilisation d'eau d'aquifères (même avec réinjection) pour l'alimentation d'une pompe à chaleur utilisée en mode rafraîchissement, semble entrer dans ce cadre.** Nous recommandons aux Maîtres d'ouvrages ou à leurs maîtres d'œuvre, pour le confirmer, d'interroger la DRIRE au cas par cas.

Selon la puissance électrique des compresseurs de la machine et conformément à la rubrique 2920 des ICPE, la mise en œuvre de PAC dont la puissance électrique est :

- **Comprise entre 50 kW et 500 kW est soumise à déclaration ;**
- **Supérieure à 500 kW est soumise à autorisation.**

*Les installations de prélèvement d'eau sont munies d'un **dispositif de mesure totalisateur**. Ce dispositif est relevé journalièrement **si le débit prélevé est susceptible de dépasser 100 m³/j**, hebdomadairement si ce débit est inférieur. Ces résultats sont portés sur un registre éventuellement informatisé. En cas de raccordement, sur un réseau public ou sur un forage en nappe, l'ouvrage est équipé d'un **dispositif de disconnexion**.*

Lors de la réalisation de forages en nappe, toutes dispositions sont prises pour éviter de mettre en communication des nappes d'eau distinctes, sauf autorisation explicite dans l'arrêté d'autorisation, et pour prévenir toute introduction de **pollution de surface**, notamment par un aménagement approprié vis-à-vis des installations de stockage ou d'utilisation de substances dangereuses.

3.11. LE CODE DE LA SANTE PUBLIQUE

Il s'applique au cas particulier des forages destinés à un usage alimentaire. Si l'ouvrage destiné à un **usage thermique** dans une opération de pompe à chaleur est également utilisé, en second usage, pour un **usage alimentaire** (notamment eau destinée à la consommation humaine ou utilisée dans l'industrie agroalimentaire), il tombe sous le coup du code de la santé publique. Dans ce cas, il est **soumis à autorisation** (articles R1321-6 à R1321-10 et R1321-14 du code de la santé publique).

Ils s'appliquent également aux installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration au titre de la loi sur l'eau réalisés **à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée** des points de prélèvements d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines et **à l'intérieur des périmètres de protection des eaux minérales** (*article 2 du décret n° 93-743 du 29 mars 1993*). Ces ouvrages relèvent alors du **régime de l'autorisation**

3.12. DEMARCHES ADMINISTRATIVES LIEES A LA MISE EN ŒUVRE DE POMPE A CHALEUR SUR NAPPE

L'exploitant doit effectuer la demande d'autorisation ou la déclaration auprès du préfet de département. La préfecture est le « guichet d'entrée » unique de l'exploitant. Le dossier sera ensuite instruit par le service compétent.

Dans le cadre d'une installation de pompes à chaleur sur nappe, il convient de prendre en compte à la fois les dispositions en matière de **police de l'eau**, et le cas échéant, les dispositions relatives à la **police des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)**.

En effet, lorsque le projet de captage (ou de rejet) en nappe est nécessaire au fonctionnement d'une ICPE, une seule démarche est nécessaire. La déclaration ou la demande d'autorisation au titre des ICPE à valeur de demande au titre de la loi sur l'eau (article L 214-1 du code de l'environnement).

3.13. ELEMENTS FINANCIERS – COUT D’ACCES A LA GEOTHERMIE

3.13.1. Sables Infra-molassique

La réalisation d’opérations de géothermie de très basse énergie exploitant l’aquifère des Sables Infra-Molassique implique des coûts d’investissement et de fonctionnement extrêmement variables en fonction :

- de la profondeur du forage, de la nature des formations traversées, de la présence d’une nappe artésienne pour les coûts d’investissements,
- et de la profondeur de la pompe (et donc du niveau statique et dynamique de la nappe), du caractère corrosif et incrustant de l’eau pour les coûts d’exploitation.

Le nombre de facteurs à prendre en compte et leur grande variabilité spatiale ne permet pas de proposer des grilles de coûts. Chaque projet devra faire l’objet d’une étude technico-économique permettant de calculer la rentabilité de l’investissement, en tenant compte des objectifs fixés et des moyens possible à mettre en œuvre pour les atteindre.

3.13.2. Nappes alluviales (Pompes à Chaleur)

Estimation des coûts

Il est également très difficile de proposer des grilles de coûts sans connaissance préalable du type de bâtiment à chauffer (ou refroidir) et des caractéristiques de la nappe à l’endroit étudié.

Par ailleurs, chaque entreprise aura pour chaque cas particulier, une politique de prix propre, difficile à anticiper.

Cependant, un travail d’enquête a été menée auprès de 41 entreprises de Midi-Pyrénées, spécialisées dans la pose de systèmes de PAC de type Eau-Eau afin d’approcher l’ordre de grandeur des coûts pour des situations « type ».

Seules deux entreprises ont accepté de nous communiquer des éléments de coûts. La société France Géothermie SARL Arnaud de l’Union (Toulouse) a bien voulu se prêter à un exercice de simulation de prix pour une installation de Pompes à Chaleurs de type EAU/EAU.

Le prix d’une installation et du fonctionnement d’un système de chauffage et/ou rafraîchissement par pompes à chaleur dépend de plusieurs facteurs :

- Le volume de bâtiment à chauffer,
- L'ancienneté du bâtiment et son indice d'isolation,
- La zone climatique, qui influence l'écart de température entre la température extérieure et la température de confort souhaitée dans l'habitation,
- Le type de dispositif de pompes à chaleur et notamment son coefficient de performance,
- Le type de chauffage : plancher chauffant, radiateurs,
- La mise en place de l'eau chaude sanitaire dans le dispositif.

Par ailleurs, l'installation d'un dispositif de chauffage par géothermie donne droit à des crédits d'impôts qui dépendent de la situation familiale du foyer (couple marié, nombres d'enfants etc).

Les simulations réalisées par France Géothermie avaient pour objectif de retranscrire un cas classique de projet d'installation de PAC EAU/EAU.

Aussi, pour un projet moyen de géothermie par PAC Eau/Eau, il faut compter environ 15 000 € TTC pour le coût d'une installation avec eau chaude sanitaire et rafraîchissement l'été. A cela, il faut déduire environ 4 500 € de Crédit d'impôts (pour un couple avec 2 enfants), soit un temps de retour sur investissement de 10 ans en moyenne.

A noter également que la durée de vie d'une installation est essentiellement conditionnée par l'usure du compresseur, dont la durée de vie est estimée à 30 ans environ.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats des deux simulations financières réalisées par France Géothermie. Les devis fictifs correspondants sont disponibles en annexe 3.

Lieu	Type travaux	Surface chauffée – (plafond à 2,5 m)	T°C de confort demandé	Type PAC	COP PAC	Débit mini de la nappe	Surface capteurs	Type chauffage	Rafrâissement	Coûts TTC	Crédit impôt (couple + 2 enfants)	Temps de retour sur invest. (/ chauffage électrique)
Toulouse	Rénovation	100	21 °C	EAU/EAU	3,5	2,06		Plancher chauffant	Oui	14 960 €	4 670 €	12 ans
Toulouse	Rénovation	123 sur 2 étages	21 °C	CAPTEURS HORIZONTAUX	3,91		265 m ²	Plancher chauffant au RDC et radiateurs à l'étage	Oui	16 450 €	4 161 €	11 ans

Illustration 15 – Synthèse des coûts simulés pour deux habitations situées à Toulouse (Origine : France Géothermie)

A noter que des travaux réalisés sur une maison en construction sont moins coûteux.

Les coûts indiqués dans le tableau ci-dessus ne prennent pas en compte le coût de réalisation du forage, qui dépend du type de formation géologique rencontré, de la profondeur souhaitée et du diamètre. Pour un cas moyen de forage réalisé dans les formations alluviales sur 10 m de profondeur, il faut compter environ 1 500 € TTC.

Pour la mise en place d'une PAC de type Eau/ Eau la profondeur du niveau piézométrique doit être inférieur à 20 m par rapport au sol. Au-delà, le COP n'est plus intéressant. Par ailleurs, la mise en place de ce dispositif devient vraiment intéressante pour des surfaces chauffées supérieures à 120 m².

Une liste non exhaustive des entreprises spécialisées dans la géothermie (tous procédés confondus) a été réalisée à partir de la banque de données des Pages Jaunes sur la région Midi-Pyrénées a été réalisée et est disponible en annexe 4.

La liste des 62 « foreurs qualité PAC » est également disponible en annexe 4. Elle donne les coordonnées des entreprises de forages référencées auprès du BRGM et de l'ADEME comme respectueuses le code de bonne pratique des forages pour les PAC.

Avec la mise en place du contrôle QUALIPAC, les installations jugées non-conformes ne pourront plus bénéficier de crédits d'impôts. Aussi, il convient de vérifier que l'installateur choisi est labélisé EUROVENT, ce qui garantit le COP, la consommation et la fiabilité du produit et le respect des normes QUALIPAC.

Les aides

Le tableau de l'illustration 15 ci-dessous synthétise les principales aides et leurs conditions d'obtention pour l'achat et la pose de PAC.

Organisme	Travaux subventionnés	Nature / Montant	Conditions
ANAH	Installation d'une PAC	Propriétaire occupant : subvention qui varie en fonction du type de travaux, des ressources du demeurant et de la région	Logement de plus de 15 ans qui est la résidence principale du demandeur ou de ses locataires
		Propriétaire bailleur : 20 % du montant des travaux (en dessous d'un plafond) + prime de 900 € pour l'installation d'une PAC air/eau ou de 1800 € pour une PAC associée à des capteurs	Après les travaux, le logement devra être occupé ou loué pendant au moins 9 ans comme résidence principale
EDF	Mise en œuvre d'une PAC	Primes et/ou prêts à taux réduits	Le matériel éligible doit avoir reçu le label Promotelec
Trésor Public	Achat d'une PAC	Crédit d'impôts représentant 50 % des dépenses pour l'achat de PAC dont le COP est > 3. Il porte sur le prix des équipements et matériaux hors main d'œuvre (sur facture d'entreprise). En cas d'aides connexes (ANAH, Région etc), le crédit d'impôts est calculé sur le montant déduit des aides. Les particuliers peuvent également profiter d'une TVA à 5,5 % pour les prestations des	La PAC doit être installée dans la résidence principale du demandeur ou dans un immeuble collectif de plus de 2 ans.

Illustration 16 – Synthèse des principales aides à l'installation d'une PAC

4. Rappel sur la géologie et l'hydrogéologie des formations étudiées : alluvial et sables infra-molassiques

4.1. RAPPEL SUR LA GEOLOGIE DE LA REGION MIDI-PYRENEES

La région Midi-Pyrénées présente sur son territoire trois unités tectoniques : le Massif central qui se situe au nord nord-est de la région, les Pyrénées localisées au sud de la région et au centre du territoire, la plaine intérieure du Bassin aquitain. La carte suivante (illustration 17) présente la géologie générale du sud-ouest de la France.

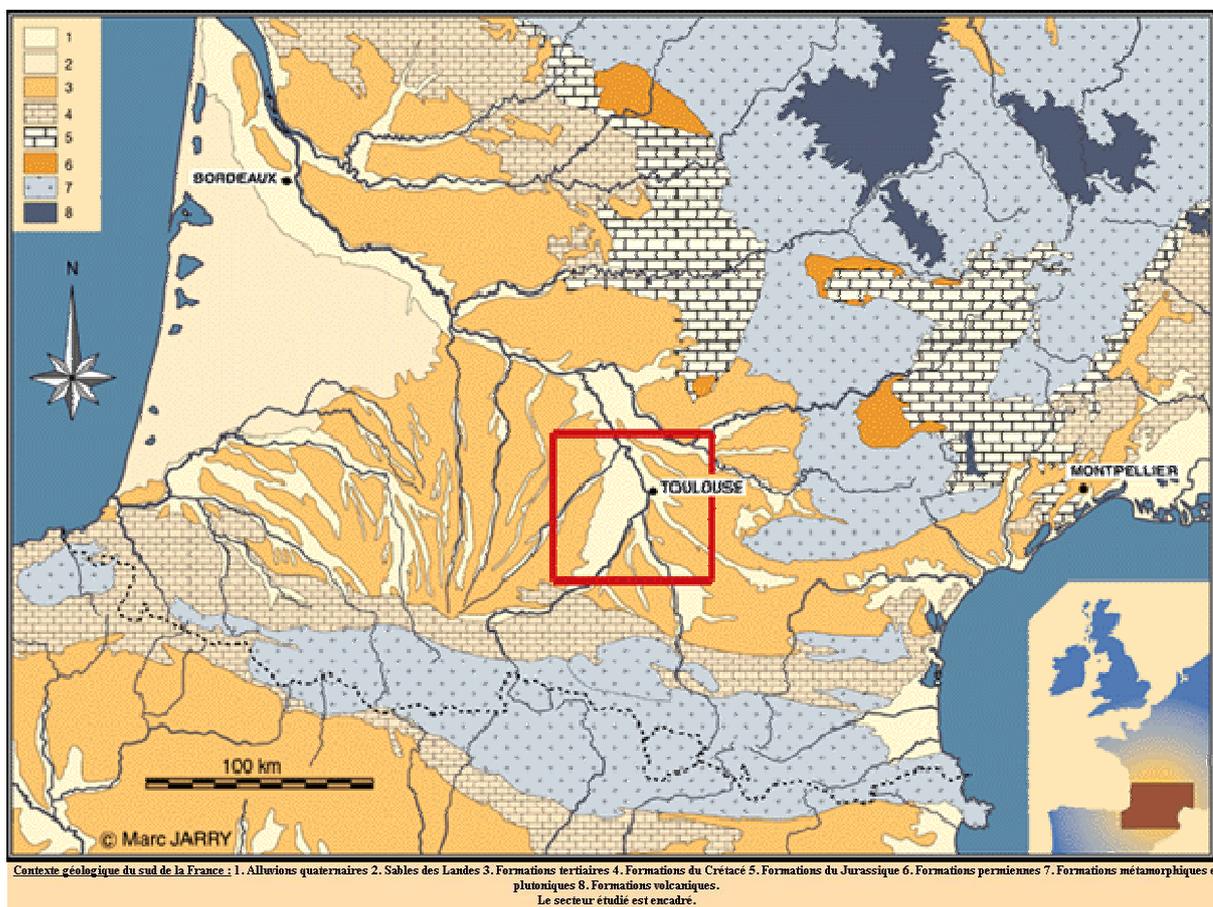


Illustration 17: Carte géologique régionale (www.haute-garonne.gouv.fr).

Le Massif central est l'unité géologique la plus ancienne. Les terrains datant du primaire ont été soulevés, faillés suivant l'orientation est-ouest et forment actuellement les grands plateaux du Quercy et du Rouergue. La montagne Noire est un bloc appartenant au Massif central soulevé au nord le long d'une faille est-ouest.

L'unité pyrénéenne est très tectonisée. Les terrains, dont les plus jeunes datent de l'éocène, ont été plissés, faillés dans la direction est-ouest et chevauchés vers le nord.

Le Bassin aquitain est une zone non plissée ouverte sur l'océan Atlantique. C'est une plaine d'accumulation des sédiments principalement péri-glaciers et fluviaux. La transition au sud avec les Pyrénées est nette car les terrains sont en contact anormaux avec ceux du Bassin aquitain et au nord, les causses du Quercy forment une zone de transition entre le Massif Central et le Bassin aquitain.

Ces trois unités géologiques offrent une grande variabilité de paysages géologiques dans la région justifiant ainsi la grande diversité des aquifères souterrains sur le territoire de la région Midi Pyrénées.

Il existe trois types de structures géologiques particulières qui accueillent différents systèmes hydrogéologiques :

- Les structures poreuses épaisses renfermant des nappes souterraines.

Le premier système hydrogéologique est le système volcanique présent dans le Massif central. Les basaltes fournissent des aquifères discontinus où l'eau circule dans les multiples fissures des anciennes coulées basaltiques. Les empilements de coulées permettent le développement d'aquifères multicouches.

Le deuxième est le système karstique : les réservoirs sont constitués de terrains calcaires et dolomitiques datés du Jurassique et du Crétacé. Le stockage est assuré par les microfissures et par les cavités karstiques existantes. Des réseaux de conduits assurent la communication entre ces différentes cavités. Il existe trois ensembles karstiques : les causses du Quercy au nord, les « Grands Causses » de l'Aveyron au nord-est et les karsts des chaînons pyrénéens au sud.

- Les structures complexes à alternance de roches perméables et imperméables à nappes locales et discontinues.

Le premier système est le système fissuré qui est présent dans le sud-ouest du massif central et dans les massifs pyrénéens. Les aquifères sont à deux niveaux interdépendants :

- Le niveau inférieur est localisé dans le substratum rocheux correspondant à des roches plutoniques ou métamorphiques plus ou moins fracturées et donc plus ou moins perméables.

- Le niveau supérieur sont les altérites qui sont morcelées et peu étendues mais drainées au niveau des fractures du substratum rocheux assurant ainsi la pérennité des aquifères.

Le deuxième est le système molassique, qui concerne les départements du Gers, de la Haute-Garonne, de Tarn-et-Garonne, du Tarn, du Lot et des Hautes-Pyrénées. Les formations molassiques issues de l'érosion des Pyrénées et du Massif central contiennent des niveaux calcaires susceptibles d'être karstifiés et de former des aquifères captifs bi ou multicouches.

Le troisième est le système aquifère captif présent dans les départements du Gers, de la Haute-Garonne et des Hautes-Pyrénées. Les terrains sédimentaires renferment de nombreux aquifères captifs plus ou moins en profondeur (les sables infra-molassiques de l'Eocène).

- Les formations détritiques continues sur substratum imperméable.

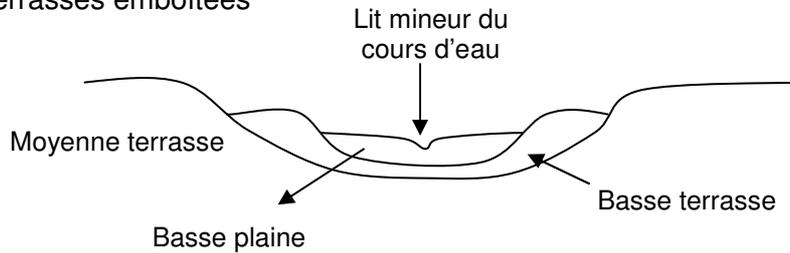
Il s'agit là des systèmes fluviatiles situés dans les vallées alluviales de la région Midi-Pyrénées (la Garonne, l'Aude, l'Ariège, le Lot...). Les formations alluvionnaires perméables facilitent l'infiltration des eaux météoriques, l'alimentation et le drainage entre les terrasses et la rivière.

4.2. FORMATIONS ALLUVIALES

La région Midi-Pyrénées est traversée par un système alluvial composé des alluvions de la Garonne, de l'Ariège, du Tarn, de l'Aveyron et de l'Adour. La configuration actuelle des principales vallées alluviales de la région Midi-Pyrénées est issue du modelage par séquence successive de creusement et de remblaiement des vallées opérée au cours du Quaternaire. De cette histoire récente résulte l'apparition de terrasses d'autant plus anciennes que leur replat est élevé en altitude.

En Midi-Pyrénées, deux schémas d'agencement relatif des terrasses entre elles peuvent être distingués :

- en terrasses emboîtées



- en terrasses étagées où le substratum peut ou non affleurer entre deux paliers successifs

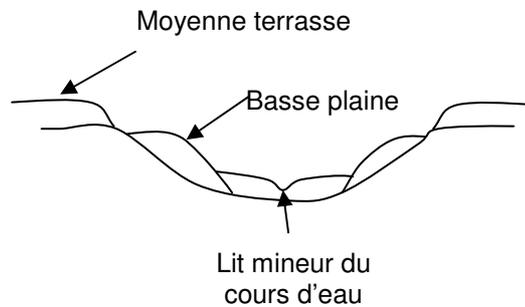


Illustration 18 – Schéma de principe de géométrie des terrasses alluviales

A noter néanmoins que la majeure partie du système alluvial de la région fonctionne en terrasses étagées. Le plus souvent, ces terrasses sont séparées par des remontées de talus molassiques.

4.2.1. Principes généraux de mécanisme de dépôt

Au Quaternaire, les grands fleuves de Midi-Pyrénées ont creusé leur vallée alluviale sur un substratum molassique et déposé des sédiments essentiellement sableux et graveleux.

Les cours d'eau ont ensuite connu des déplacements latéraux dits de « reptation des méandres » au cours desquels les alluvions déposées ont été remaniées. Les terrasses alluviales, situées à différentes altitudes, témoignent des variations du niveau du cours d'eau de l'époque. Elles correspondent aux dépôts des anciens lits des rivières et leur histoire est liée aux variations climatiques. En effet, les épisodes de glaciations successifs (Donau, Günz, Mindel Riss et Würm) ont conditionné la géométrie du substratum et l'alluvionnement en cinq (5) niveaux distincts de terrasses (cf. illustration 18).

Les mouvements successifs des cours d'eau ont conditionné la morphologie des terrasses alluviales.

Par exemple, la vallée de l'Ariège s'est élargie (cf. illustration n°19), lors de la mise en place de l'appareil alluvial wurmien. Depuis, ces dépôts ont été remaniés, se sont approfondis et élargis par sapements latéraux et évolution de méandres (c'est le cas notamment dans le secteur de Cintegabelle dans la vallée de l'Ariège), tandis que le talus de la rive droite évolue peu, malgré quelques cirques d'éboulements. Ce phénomène est encore actif et les coteaux s'éboulent encore, selon les déplacements des méandres, sur la rive gauche de l'Ariège et sur la rive droite de l'Hers. Ces déplacements ont provoqué le détournement de petits affluents.

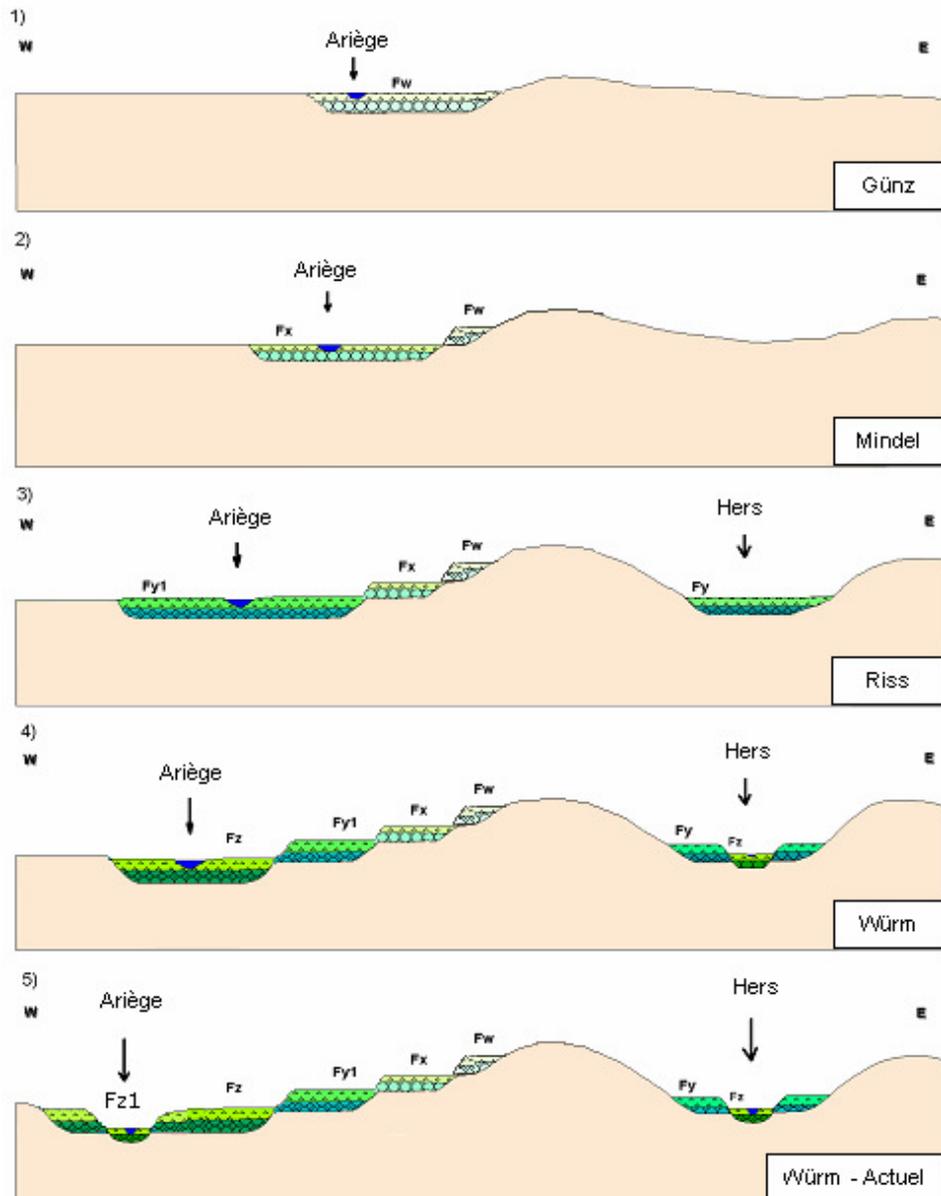


Illustration 19 - Schéma théorique de la mise en place des terrasses alluviales du complexe Ariège-Hers d'après une synthèse bibliographique.

A l'inverse les alluvions de la Garonne sont beaucoup plus développées en rive gauche, notamment dans le département de la Haute-Garonne. Le fleuve s'est donc déplacé d'ouest en est, permettant ainsi le développement de cinq (5) niveaux de terrasses sur sa rive gauche. La rive droite comprend seulement un niveau de basse plaine. Cette morphologie évolue et s'inverse dans le département de Tarn-et-Garonne où le système alluvial intègre le fonctionnement de trois cours d'eau principaux, l'Aveyron, qui rejoint le Tarn dans le secteur de Montauban et le Tarn qui confluent avec la Garonne dans le secteur de Saint Nicolas de la Grave (Cf. illustration 20).

Coupe Nord-Sud à l'Ouest de Saint Nicolas de la Grave

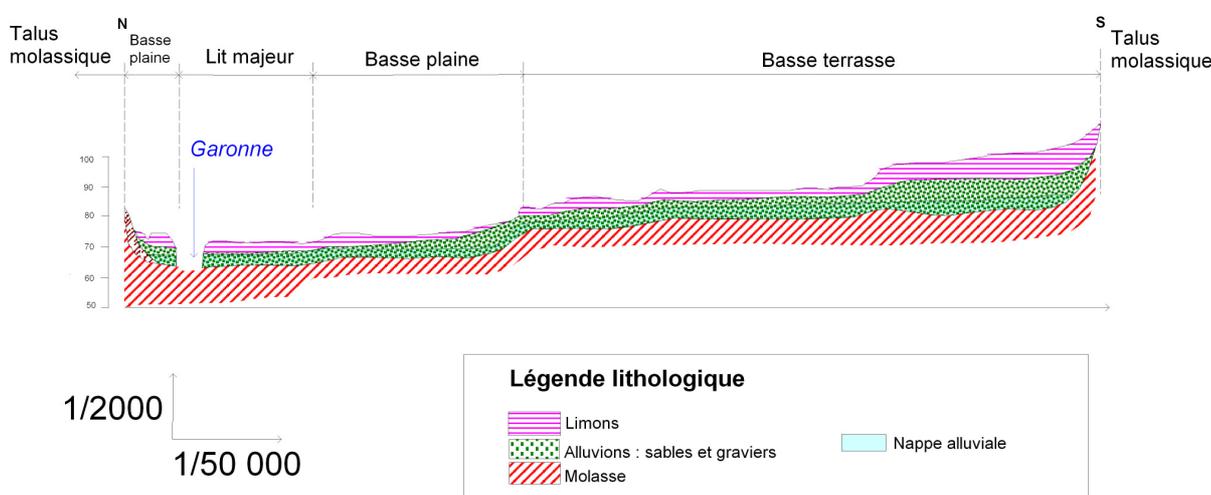


Illustration 20 – Coupe nord-sud des alluvions de la Garonne, à l'ouest de Saint Nicolas de la Grave

4.2.2. Description lithologique des différents niveaux de terrasses rencontrés

Ces formations fluviatiles sont généralement constituées par un niveau grossier, à la base, correspondant à des graviers et des galets entremêlés de sable plus ou moins argileux et par un horizon superficiel à granulométrie plus fine, venant recouvrir le précédent et caractérisé par des argiles et/ou des limons.

Ces terrains alluvionnaires forment des aquifères à nappe libre dont l'alimentation est le plus souvent assurée par l'infiltration directe des eaux de pluie au travers des

différentes terrasses. De ce fait, le potentiel de recharge de ces systèmes est particulièrement sensible aux variations climatiques annuelles.

Toutefois, le degré d'altération de ces dépôts fluviatiles conditionne la perméabilité de ces réservoirs, les plus anciennes terrasses contenant des nappes souvent peu développées et d'extension réduite.

Les relations nappes-rivières peuvent dans certains cas se produire dans un seul sens : drainage de la nappe par le cours d'eau (cas de figure où la rivière repose directement sur un substratum imperméable). Toutefois, lorsque les conditions géologiques sont favorables (cours d'eau n'ayant pas entaillé le substratum imperméable), la rivière peut drainer et être drainée directement par la nappe en fonction des saisons.

Le système alluvial de la région Midi-Pyrénées compte cinq (5) niveaux de terrasses différents, certains niveaux anciens (hautes terrasses) pouvant être absents pour certains cours d'eau (Capdeville et *al.*, 1997). La composition de ces niveaux de terrasses est généralement très proche, et se distinguent essentiellement de part le degré d'évolution de l'altération des galets et l'évolution pédologique des limons.

Les faciès lithologiques généraux des différents niveaux de terrasses sont détaillés ci-après. Il convient cependant de noter que la composition des alluvions varie fortement sur des distances très courtes. Cela peut s'expliquer par la présence de paléo chenaux des cours d'eau. Ces descriptions doivent donc être considérées avec prudence.

- **Alluvions des hauts niveaux et des hautes terrasses**

Ces alluvions sont les plus élevées dans la topographie et sont datées du Donau. Elles se distinguent par l'importance des évolutions pétrographiques et pédologiques. Les quartzites se sont désagrégés, les schistes se sont transformés en sables fins argileux. Il ne subsiste plus que des cailloutis siliceux centimétriques hématisés. L'altération y est donc extrême. Au sommet des graves se trouve très souvent un dépôt de « grep » (zone de concentrations ferrugineuses indurées).

- **Alluvions des moyennes terrasses**

Ces alluvions sont datées du Riss ou du Mindel selon les auteurs. Elles sont constituées d'éléments roulés de quartz, de quartzite, de schiste, de grès, de gneiss et de granite. Les éléments schisteux et cristallins sont très altérés, libérant d'importantes quantités de sables fins argileux qui colmatent les formations et ce d'autant plus qu'elles sont plus anciennes.

Les graves ont une épaisseur de trois (3) à quatre (4) mètres et sont recouvertes par des limons épais de 1,5 à 2 mètres. Ces couches superficielles limoneuses (où à la base, se trouve un dépôt de « grep »), ont subi une évolution pédologique de type podzolique qui les rend pratiquement imperméable.

- **Alluvions des basses terrasses**

Ces alluvions sont datées du Pléistocène supérieur (Würm) ou du Pléistocène moyen (Riss) selon les auteurs. Elles sont constituées par des graves quartzeuses recouvertes de limons inégalement réparties. L'épaisseur des graves est généralement comprise entre cinq (5) et six (6) mètres.

- **Alluvions de la basse plaine**

Ce niveau est daté du Post-Würm ou du Pléistocène supérieur (Würm) selon les auteurs. Ces alluvions sont constituées de cailloux enrobés dans une matrice sableuse. Ils sont parfois surmontés de limons. L'épaisseur de la basse plaine est variable, de quelques mètres (2 à 4 m) à quinze (15) mètres en fonction des secteurs.

- **Formations superficielles**

Les formations dites superficielles comprennent les dépôts de pente, les éboulis et les solifluxions pouvant être issues des terrains molassiques ou des terrasses alluviales.

Dans le premier cas, ces dépôts affectent la majorité des versants à faible pente des ensembles molassiques. Ils correspondent à des matériaux argilo-limoneux, résultat de la remobilisation gravitaire des formations molassiques, et peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur au pied des pentes (Capdeville et *al.*, 1997).

Dans le second cas, sur le rebord des plateaux, les fragments de terrasses altérés par l'érosion ont glissé le long des talus molassiques. Celui-ci est alors recouvert d'une formation caillouteuse emballée dans une matrice argileuse.

4.2.3. Hydrogéologie

- **Caractéristiques hydrogéologiques des différents niveaux de terrasse**

Le contexte de mise en place des différentes terrasses alluviales détermine le schéma hydrogéologique de la zone étudiée. En effet, dans le secteur d'étude les alluvions peuvent être agencées de trois (3) manières :

- en terrasses étagées, séparées par des affleurements de substratum,
- en terrasses étagées, avec connexion hydraulique entre elles,
- en terrasses emboîtées

Ces caractéristiques géomorphologiques induisent la distinction des aquifères suivants :

- **Aquifère des alluvions de la haute terrasse**

Seuls quelques lambeaux de hautes terrasses subsistent, ils présentent une fraction argileuse issue de l'altération des éléments granitiques plus importante que celle des alluvions récentes, induisant une diminution de la perméabilité. Les nappes des hautes terrasses sont donc généralement peu développées et d'extension réduite.

- **Aquifère des alluvions de la moyenne terrasse**

Les moyennes terrasses sont également présentes sous forme de lambeaux, plus ou moins réduits, dominant les cours d'eau. L'altération y est très poussée et la perméabilité des terrains faible.

- **Aquifère des alluvions de la basse terrasse et de la basse plaine**

Les alluvions de la basse terrasse et de la basse plaine sont constituées par les graviers grossiers et les lentilles sableuses perméables de la basse terrasse épais de cinq (5) à six (6) mètres, et par ceux de la basse plaine dont l'épaisseur varie de cinq (5) à quinze (15) mètres. Ils sont surmontés d'une couverture de 0,5 à deux (2) mètres de limons argileux récents, due aux dépôts formés lors des crues. Les valeurs de la perméabilité des alluvions sont comprises entre 1.10^{-4} et 1.10^{-3} m.s⁻¹ (Cavaillé et *al.*, 1965).

Ces alluvions sablo-graveleuses de la basse terrasse et de la basse plaine contiennent une nappe libre continue en relation hydraulique directe avec les grands cours d'eau. En effet, la basse terrasse est une terrasse emboîtées induisant une continuité hydraulique avec la basse plaine., Des zones de discontinuité peuvent cependant être observées localement.

Ces nappes soutiennent le débit des cours d'eau et permettent un soutien d'étiage en période estivale. Selon les endroits et en fonction de degré d'encaissement des cours d'eau dans la molasse, les rivières peuvent temporairement recharger la nappe en période de crue.

L'alimentation de la nappe est assujettie aux apports pluviométriques et dans une moindre mesure au déversement des nappes des terrasses sus-jacentes. De ce fait, le potentiel de recharge du système est particulièrement sensible aux variations climatiques annuelles.

Les oscillations de cette nappe sont importantes et les basses eaux très marquées en fin d'été et en automne.

• **Sens d'écoulement**

De manière générale, le sens d'écoulement des nappes, inhérent à la gravité, est le résultat d'une composante dirigée vers les grands cours d'eau drainants et vers les terrasses sous-jacentes. En effet, l'alimentation des nappes est issue en grande

majorité des apports pluviométriques et du déversement des nappes des terrasses supérieures, pouvant parfois se matérialiser par des lignes de sources, lorsque des talus molassiques parviennent à l'affleurement.

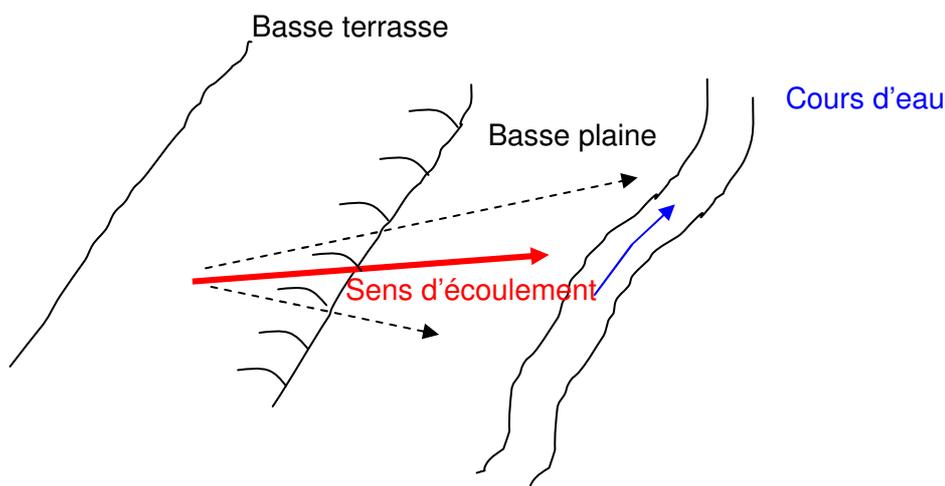


Illustration 21 – Schéma de principe des directions d'écoulement des nappes alluviales de Midi-Pyrénées

- **Productivité**

La productivité des nappes est globalement croissante des terrasses anciennes aux alluvions les plus récentes. Ce phénomène est lié à la lithologie des matériaux, et notamment au degré d'altération des alluvions en relation avec le pourcentage d'argile. Il est par ailleurs accentué dans les alluvions récentes (et éventuellement les basses plaines), par des effets de recharges ponctuels par les cours d'eau en crue.

Ainsi, les gammes de productivité attendues, vont de quelques m³/h et voire moins dans les moyennes terrasses, à une centaine de m³/h dans les basses plaines et alluvions récentes.

Il est cependant nécessaire de rappeler le caractère très hétérogène des alluvions, y compris dans un même niveau de terrasse. Il est en effet très fréquent d'observer des débits très différents sur des ouvrages distants de quelques centaines de mètres seulement. Cela peut s'expliquer par la présence de paléo chenaux ou de passées plus argileuses. Il est donc impossible de déterminer a priori le débit d'exploitation d'un ouvrage. Seul un essai de nappe par pompage peut apporter ce niveau d'information.

- **Physico-chimie**

Les eaux de nappes alluviales sont globalement proches de la neutralité et de dureté moyenne. Leurs températures oscillent entre 12 et 14°C en fonction des saisons et ne présentent pas d'anomalie de salinité particulière ou de pouvoir corrosif. Elles peuvent être localement fortement contaminées par les nitrates et les produits phytosanitaires, de part leur grande vulnérabilité intrinsèque et une pression polluante de surface importante.

4.3. FORMATION DES SABLES INFRA-MOLASSIQUES

4.3.1. Conditions de dépôts

La formation des sables infra-molassiques, caractérisée par sa lithologie, fait partie de système de dépôts datés de l'Eocène et se concentrant dans la partie Sud et Est du Bassin aquitain. Cette formation correspond à un épandage progradant de produits détritiques, parfois remaniés, issus de l'érosion du Massif central, pour les plus grossiers, et des Pyrénées, pour les plus fins.

Les sables infra-molassiques, ainsi que les autres niveaux sableux du Tertiaires, se sont déposés dans une dynamique de système deltaïque progradant très complexe. En 1997, CAVELIER et al., proposent un schéma géologique inédit du Tertiaire Sud Aquitain. A partir des données de forage et des interprétations sismiques, les auteurs replacent les différents faciès lithostratigraphiques et biostratigraphiques dans un schéma géologique illustrant le dispositif progradant des formations tertiaires dans le domaine de plate-forme jusqu'aux zones profondes de sédimentation. Il met également en évidence le diachronisme des Sables infra-molassiques, qui constituent le terme ultime du comblement du Bassin, avant le remplissage molassique continental.

Les séries éocènes se sont mises en place par une dynamique progradante Est-Ouest des apports détritiques du bassin, dès la fin du Paléocène et jusqu'au Bartonien.

La profondeur de ces sables varie fortement en fonction des différents accidents structuraux (rides et fosses). Le toit des formations peut atteindre plus de 1500 m de profondeur dans la fosse de Tarbes, alors qu'il est rencontré à 100 m à Eugénie-les-Bains, ou est sub-affleurant à Barbotan.

4.3.2. Hydrogéologie

L'aquifère des sables infra-molassiques contient une nappe captive potentiellement très intéressante pour l'usage géothermique, avec une température des eaux pouvant atteindre 40°C. Les ouvrages captant cette nappe présentent généralement de bonnes productivités.

Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe sont hétérogènes : la porosité et la perméabilité diminuent d'Ouest en Est, en raison d'un enrichissement en argile. La porosité est comprise entre 20 et 35 % (HOUSSE & MAGET, 1977).

Les valeurs de transmissivités sont de l'ordre de 2 à $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s, ce qui confirme les bonnes caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère. Les études réalisées suggèrent également l'existence d'une zone de transmissivité élevée prenant la forme d'un chenal orienté globalement nord-sud, débutant au Sud entre Pau et Tarbes, passant par Lussagnet-Izaute et se terminant à Barbotan. Les valeurs de transmissivité observées sont comprises entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s.

Les coefficients d'emmagasinement spécifique mesurés sont de l'ordre de $1 \cdot 10^{-6}$ m⁻¹.

Les différentes cartes piézométriques réalisées montrent un domaine à forte pression et faible gradient hydraulique dans son secteur central et d'une zone d'effondrement des pressions plus au nord. Enfin, il est à signaler que cette nappe est jaillissante dans de nombreux secteurs. C'est le cas en particulier dans les vallées qui sillonnent le département du Gers, mais aussi celui de la Haute-Garonne où la nappe est artésienne dans toute la vallée de la Garonne (à Blagnac, la pression en tête de puits était de $2,6 \cdot 10^5$ Pa au moment du forage, en 1067).

Les zones d'alimentation potentielles sont réparties sur les bordures Sud et Est du Bassin aquitain. Un drainage de la nappe des Sables infra-molassique par les aquifères sous-jacents est supposé avec les horizons carbonatés et dolomités du Paléocène, du Crétacé Supérieur et à un degré moindre, du Jurassique.

A noter enfin que la nappe des SIM est utilisée pour le stockage de gaz naturel au sein des structures anticlinales de Lussagnet et d'Izaute. L'activité annuelle de stockage et de déstockage se traduit par une onde périodique de pression/dépression qui affecte de manière plus ou moins sensible les ouvrages dans un rayon de 30 km environ autour des sites de stockage.

5. Opérations de géothermie en Midi-Pyrénées

Les opérations de géothermie en fonctionnement ou ayant fait l'objet d'une étude de faisabilité en Midi-Pyrénées ont été recensées dans la Banque de Données du Sous-Sol (BSS).

L'illustration 22 ci-après présente le nombre de dossiers BSS recensés dans chaque grand type d'aquifères de la région.

Type de milieu	Nombre de dossiers recensés dans la BSS	Evaluation du nombre d'opérations réellement existantes
Nappes alluviales	3	Plusieurs milliers
Aquifères profonds	5	5
Aquifères fissurés	2	?
Aquifères karstiques	4	?
Capteurs verticaux (sans aquifère)	3	Plusieurs milliers

Illustration 22 – Nombre d'opérations de géothermie recensés dans la BSS en fonction du type d'aquifère

Ce tableau montre que la BSS ne permet pas, dans sa configuration actuelle, de recenser les opérations de géothermie à très basse énergie, de type PAC. En effet, les ouvrages d'eau mis en œuvre dans ce type de dispositif n'atteignent pas systématiquement 10 m de profondeur. Les propriétaires ne sont donc pas soumis à déclaration en BSS (via la DRIRE). Par ailleurs, le taux de déclaration des ouvrages du sous-sol de plus 10 m est estimé à 5/10 % sur le plan national, ce qui explique le manque de visibilité sur le nombre de PAC installées.

5.1. AQUIFERE PROFOND DES SABLES INFRA-MOLASSIQUES

Cinq (5) opérations de géothermie exploitant la nappe des Sables Infra-molassiques ont été recensées dans la BSS. Ils concernent les communes de :

- Blagnac (Haute-Garonne) : deux (2) forages utilisés pour le chauffage de la piscine municipale et un immeuble d'habitation,

- Mazères (Gers) : un forage utilisé pour le chauffage de serres,
- Tarbes (65) : un forage réalisé pour le chauffage de bâtiments collectifs, mais non exploité,
- Pamiers (09) : projet de réalisation d'un forage de pompage et d'un forage de ré-injection pour le chauffage de bâtiments collectifs. Opération abandonnée.

Les données recensées sur ces opérations de géothermie ont été saisies dans une base de données nommée « Valorisation géothermique des aquifères de Midi-Pyrénées ». Elles sont présentées sous forme de fiches descriptives, disponibles en annexe 5.

Ces données, et plus particulièrement celles relatives au site de Blagnac ont été complétées par les informations recensées dans les archives de la DRIRE.

Un enquête téléphonique sera réalisée au début de l'année 2007 afin d'actualiser les données de la BSS et de connaître l'état actuel des exploitations.

5.2. NAPPES ALLUVIALES : POMPES A CHALEUR

La BSS contient relativement peu d'informations sur les dispositifs de pompes à chaleur mis en place en Midi-Pyrénées. Seulement trois (3) opérations ont été déclarées en BSS, alors que plusieurs dizaines, ou centaines de dispositifs sont probablement en place.

A l'heure actuelle, aucun organisme fédérateur n'est en mesure d'évaluer le nombre d'installation mise en place en Midi-Pyrénées.

Néanmoins, l'AFPAC a réalisé pour l'année 2006 des statistiques du marché des pompes à chaleur pour les particuliers sur le territoire national. Ces données sont reprises dans les tableaux suivants :

Année	2002	2003	2004	2005	2006
Sol/ sol et Sol / Eau		5400	6800	7800	9600
Eau / Eau	7700	3600	4900	5400	8850
Air / Eau	4400	4700	5600	12000	35050
Air / Air	Données non représentatives				
TOTAL	12100	13700	17300	25200	53500

Illustration 23 - Evolution des différents dispositifs de PAC entre 2002 et 2006 (données AFPAC)

Type de PAC	Nombre		Répartition		Total
	Résidentiel	Non Résidentiel	Résidentiel	Non Résidentiel	
5 à 20 kW	1940	480	80	20	2420
21 à 80 kW	20	60	25	75	80
<i>TOTAL</i>	1960	540	78	22	2500
<i>Evolution 2005 - 2006</i>	46%	52%			47%

Illustration 24 – Nombre de PAC Eau/Eau fabriquées, importées et vendues sur le marché français en 2006 (données AFPAC)

L'enquête auprès des entreprises d'installation de dispositifs de pompes à chaleur n'a pas permis d'évaluer la fréquence d'installation et d'effectuer une estimation du nombre de PAC installées, faute de réponses.

Les seuls éléments mis à la disposition du BRGM tendent à supposer un nombre d'environ 500 installations par an sur les départements couverts par les nappes alluviales (31, 82, 09) et de 400 par an pour les autres départements. Au total, il semble que 4000 installations de dispositifs de géothermie, tous process confondus, soient réalisées chaque année en Midi-Pyrénées, avec une forte croissance en perspective. La part de PAC Eau/Eau peut être évaluée à 16 %, soit environ 600 opérations par an sur la région.

5.3. AUTRES TYPES D'AQUIFERES

Des opérations de géothermie ont également été recensées en milieu fissuré et karstique et ont fait l'objet de fiches descriptives, pour information. Ces aquifères ne sont pas étudiés dans le cadre de cette étude car leur potentialités d'exploitation reste anecdotique par rapport aux nappes alluviales ou aux Sables Infra-molassiques.

Trois (3) opérations de géothermie par capteurs verticaux recensés dans la BSS ont également fait l'objet d'une fiche.

6. Recensement des sources et forages d'eau chaude non exploités de Midi-Pyrénées

6.1. GENERALITES

La Direction de l'Environnement et du Développement Durable de la Région Midi-Pyrénées a fourni, dans l'avenant technique au cahier des charges, une liste des sources chaudes non exploitées de la région, sur la base des inventaires départementaux réalisés par le BRGM dans les années 1980.

Cette liste, reprenant le nom de la source et la commune d'implantation, comprend un total de 100 sources chaudes, réparties de la façon suivante :

Département	Nombre de sources recensées (études BRGM)
Ariège (09)	20
Aveyron (12)	15
Gers (32)	8
Haute-Garonne (31)	31
Lot (46)	5
Hautes-Pyrénées (65)	15
Tarn (81)	4
Tarn-et-Garonne (82)	2
TOTAL	100

Illustration 25 – Répartition des sources chaudes non exploitées recensées en fonction des départements

Le code BSS (Banque de données du Sous Sol) a été recherché pour chacune de ces sources et des tables spécifiques ont été développées dans la base de données. Les données de la BSS y ont ensuite été saisies. Pour les points ne possédant pas de code BSS, un code provisoire de type « InconnuX » a été attribué. Lorsque des investigations complémentaires auront été menées sur ces sources, un code BSS leur sera attribué et sera saisi dans la base de données. Ces points ont été géoréférencés dans un SIG sur la base de la documentation existante.

La liste des Sources et forages d'eau Chaude Non Exploités (SCNE) est disponible en annexe 6.

6.2. BASE DE DONNEES SUR LES SOURCES ET FORAGES THERMO-MINERAUX NON EXPLOITES (STNE ET FTNE)

6.2.1. Finalités

La base de données permettant de stocker les informations collectées sur les STNE et les FTNE est intégrée dans la base unique du projet nommée « GEOTHEMPY ». Le volet dédié aux ouvrages thermo-minéraux non exploités vise à mettre en évidence le potentiel géothermique de ces eaux, notamment pour le chauffage de bâtiments collectifs, publics ou non.

Pour cela, il a été nécessaire de collecter et centraliser des données issues de la bibliographie, portant sur la géologie et le fonctionnement hydrogéologique des points d'eau, la physico-chimie des eaux et notamment la variation dans le temps de leur température, le débit naturel et exploitable.

Ces données sont ensuite confrontées aux besoins de la commune et notamment à la présence de bâtiments collectifs à proximité.

Afin d'améliorer et d'actualiser les connaissances sur ces points d'eau, des questionnaires ont été envoyés aux mairies concernés durant l'été 2006.

6.2.2. Champs renseignés

Les champs visant à être renseignés dans la base de données « GEOTHEMPY » sont les suivants (le cas des sources est pris à titre d'exemple, mais les champs relatifs aux forages sont très semblables) :

DONNES DESCRIPTIVES	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	FICHIERS IMAGES
Code_BSS_Source	Num_auto	PLAN DE LOCALISATION
Indice_BSS	Ref_code_BSS_Source	COUPES TECHNIQUES
X_L3	Date_Analyse	COUPES GEOLOGIQUES
Y_L3	Remarque	+
Z_sol_m	Temp	
Designation	pH	
Denomination	C_a_20	
Lieu_dit	Q en m3/h	
Commune	R_sec	
Dept	Turbidite_NTU	
Source_pv_pb	Oxydabilite	+
Type_de_captage	Silicates	
Cause_abandon	DURETE	
Historique	REDOX	
Source_visitee?	TAC	
Rmq_Visite	CO2	
T_moyenne	PO4	ACTES ADMINISTRATIFS ENREGISTRES
C_a_20	Ca	
pH_moyen	Mg	
Mineralisation_moy	Na	
S_Debit_min_obs	NH4	
S_Debit_max_obs	NO3	
S_Periode_etiage_obs	K	
S_Periode_crue_obs	NO2	
S_Accessib_emergence	Cl	
Presence_de_donnees_sur_expl_ante	F	
Proprietaire_de_la_donnee	SO4	
Problemes_de_qualite_rencontres	CO3	
Facies_physicochimique	HCO3	
Geol_emergence	Al	
Geol_gisement	Cu	
Remarques	Fer	
Code_SA	Mn	
ETAT_OUVRAGE_BSS	Zn	
MO_BSS	As	
PROPRIO_OUVRAGE_BSS	Br	
EXPLOITANT_BSS	Li	
ENTREPRENEUR_BSS	Sr	
UTILISATION_BSS	Si	
DOCUMENTS_BSS		
DATE_DOSSIER_BSS		

NB_ANA_BSS
NB_IMAGES_BSS
Civilite_proprio_S
Nom_proprio_S
Prenom_proprio_S
Adresse_proprio_S
CP_proprio_S
Ville_proprio_S
Tel_proprio_S
Intérêt pour GTH
Commentaire_GTH_INV

Illustration 26 – Liste des champs de la base de données sur les sources chaudes non exploitées et origine de la donnée

6.2.3. Origine de la donnée

Une grande majorité des données saisies sont issues des synthèses départementales sur les stations thermales et sources thermo- minérales réalisées par M. Nartet et JC. Soulé (BRGM) dans les années 1980. Des informations complémentaires sont issues des dossiers papier de la Banque du Sous-Sol.

Enfin, pour 10 sources, ces données ont pu être actualisées et complétées par une visite de terrain.

6.3. VISITE DE 10 SCNE

6.3.1. Réalisation d'un questionnaire d'enquête

Un questionnaire a été envoyé au mois d'août 2006 aux quarante (40) communes concernées par la présence d'une source chaude non exploitée.

Le modèle de document est disponible en annexe 7.

A ce jour, dix-huit (18) communes ont répondu au questionnaire. Beaucoup d'entre elles n'ont que très peu d'informations complémentaires sur les sources. Cette enquête a néanmoins permis de caractériser deux types d'informations essentielles : le caractère privé ou public des sources et la présence dans la commune de bâtiments collectifs, publics ou privés, pouvant bénéficier d'un réseau de chaleur par géothermie.

C'est donc sur la base des critères : sources publiques et présence de bâtiments collectifs, que ces réponses ont été classées. Les résultats sont présentés dans l'illustration 27 ci-dessous.

INTERRESSANTES	
Nombre de communes où au moins une source est potentiellement intéressante	6
PEU INTERRESSANTES	
Nombre de communes où les sources peuvent difficilement être exploitées	5
DOUTE	
Nombre de communes où il est difficile de trancher sur l'exploitabilité des ressources	7
Nombre total de communes	18

Illustration 27 – Classement des communes en fonction du potentiel d'exploitabilité des sources chaudes recensées

Il est prévu d'organiser au début de l'année 2007 dix (10) visites sur site pour les communes dont le potentiel de valorisation des SCNE est jugé le plus intéressant. Ces visites concerneront les 6 communes classées en « Intéressantes » et 4 communes classées en « doute ».

Les résultats de cette enquête de terrain seront saisis dans la base de données.

6.3.2. Sources visitées

Sources sélectionnées

Au vue des informations collectées sur les SCNE et des finalités de l'opération, une liste de critères de sélection a été établie pour identifier les 10 sources à visiter :

- sources chaudes, c'est-à-dire température supérieure à 15 °C,
- sources pérennes,
- sources publiques,
- présence de bâtiments collectifs sur la commune (données issue du questionnaire d'enquête),

- source situées à moins de 2 km du bourg (ou de tout établissement collectif).
Ce dernier critère étant difficile à évaluer à priori (carte IGN non actualisées), il n'a pas pu être pris en compte pour le choix des sites à visiter.

Les sources répondant aux critères sont identifiées dans le tableau suivant :

Code BSS	Dénomination	Commune	T °C MOY	Q moy m3/h	SOURCE PUBLIQUE	SOURCE VISITEE
08105X0011/HY	SOURCE MINERALE DE BUSQUEILLE	Prudhomat	15,9	3,6		
08334X0030/HY	Lagarde n°1	BIO	16,0	0,5		
08827X0035/HY	Les Cariettes	Villefrance de Rouergue	15,2			
09065X0005/HY	SOURCE DE L'EGLISE	Féneyrols	15,5	1,4		
09065X0005/Hybis	Bombouzol n°2	Féneyrols	15,9	6,9		
09065X0011/HY	Bombouzol n°1	Féneyrols	16,1	10,1		
09282X0002/HY	Storts	Ligardes	15,9			
09546X0020/HY	SOURCE FONTAINE CHAUDE	Lavardens	17,5			
10336X0020/HY	SOURCE BARTETE	Boussan	16,4	6,5		OUI
10548X0094/HY	Jouvence	Labarthe-Rivière	17,4			
10555X0041/HY	GRANDE SOURCE SALOMON	Encausse les Thermes	28,0	1,3		OUI
10556X0006/HY	SAINT-GUILHEM EX-GANTIES (SOURCE DE GANTIES)	Ganties	20,5	27,0		
10722X0023/HY	SOURCE DES NERFS CHALET SAINT-NEREE	Ferrère	18,7	2,9		
10723X0006/HY	SOURCE SAINTE-MARIE OU LA-LANETTE	SIRADAN	15,9	2,3		
10723X0035/HY	Le Lac	SIRADAN	16,3	3,3		OUI
10742X0022/HY	SCE DES BAINS OU GRDE SCE	Montjoie-En- Cousserans	20,0	6,8		OUI
10742X0023/HY	SCE LOUISE	Montjoie-En- Cousserans	18,5	4,3		OUI
10742X0038/HY	SOURCE DES YEUX AUDINAC-LES-BAINS	Montjoie-En- Cousserans	16,4	0,9		OUI
10746X0080/HY	SCE DE SEIX	Seix	18,1	4,0		
10762X0062/HY	FONTCIRGUE - SOURCE LA BUVETTE	LA BASTIDE SUR L'HERS	18,7			
10888X0004/HY	SOURCE BARAQUETTE	Carcanières	38,0			
10888X0005/HY	SOURCE CAMPOUSSY	Carcanières	52,6	3,7		
10888X0006/HY	SOURCE MYS	Carcanières	55,7	2,3		
10888X0007/HY	SOURCE LA-VIERGE	Carcanières	35,5			
10888X0008/HY	SOURCE CONDAMY	ROUZE	20,8	0,6		
10888X0009/HY	SOURCE FOUNT D'ASLAYS OU SOURCE DES PLAIES	ROUZE	23,3	0,4		
10888X0010/HY	SOURCE SAINTE- GENEVIEVE	ROUZE	26,5	0,3		
10888X0019	SOURCE REGINE	Carcanières	62,2	4,3		

10888X0020	SOURCE ESPARRE	Carcanières	34,4	0,0		
10888X0021	SOURCE BAIN FORT	Carcanières	49,4	2,5		
10941X0020/HY	SCE DES BAINS	Mérens Les Vals	35,0	5,0		
10941X0020/Hybis	Moussolino	Mérens Les Vals	36,0	3,0		
10941X0020/Hyter	Mouchard-Perruquet	Mérens Les Vals	25,0	1,0		
inconnu1	Patché ou Supérieure	Mérens Les Vals	31,0	0,0		
inconnu11	Crabot	Blousson-Sérian	16,1	0,0		
inconnu12	Luro	Blousson-Sérian	16,1	0,0		
inconnu35	Saint Victoria	ROUZE	24,0	0,3		

Illustration 28- Liste des sources répondant aux critères de sélection

Très peu de sources remplissent l'ensemble de ces critères. Aussi, la sélection a pu être élargie à des sources moins chaudes ou à des sources privées. Par ailleurs, le manque de connaissance sur le débit et sa variation dans le temps n'a pas permis l'utilisation de ce critère.

Aussi, les sources sélectionnées sont les suivantes :

Code_BSS	X_L3	Y_L3	Lieu_dit	Commune	Dept
10737X0004/HY	486820	3064900	SOURCE COURTHEIL OU DU-HAUT - LE PRADEAU	Sentein	09
10737X0025/HY	486531	3064871	Source du Mich	Sentein	09
10737X0026/HY	486531	3064871	Source du Fer	Sentein	09
08827X0019/HY	574949	3228956	SOURCE NOTRE-DAME DES TREIZE PIERRES	Villefrance de Rouergue	12
10336X0020/HY	481180	3105260	SOURCE BARTETE	Boussan	31
10555X0041/HY	470069,2	3084583	GRANDE SOURCE SALOMON	Encausse les Thermes	31
08093X0026/HY	546654	3298269	Saint Félix ou Sanitas	Saint Michel de Bannières	46
10723X0035/HY	459707	3075821	Le Lac	SIRADAN	65
10742X0022/HY	505850	3079050	SCE DES BAINS OU GRDE SCE	Montjoie-En-Cousserans	09
10742X0023/HY	505860	3079100	SCE LOUISE	Montjoie-En-Cousserans	09
10742X0038/HY	505900	3079040	SOURCE DES YEUX AUDINAC-LES-BAINS	Montjoie-En-Cousserans	09

Illustration 29 – Liste des sources visitée par le BRGM en 2007

Organisation des visites de terrain

Les visites de terrain ont permis :

- de constater l'état du point d'eau (présence d'un équipement en place, absence d'utilisation, état général du captage etc),
- de vérifier les coordonnées exactes du point, par mesure au GPS,
- d'identifier (lorsque les questionnaires n'apportaient pas cette information) le propriétaire,
- d'effectuer une mesure in-situ du pH, de la conductivité et de la température (à l'aide d'une sonde multi-paramètres),
- d'effectuer des observations naturelles permettant d'identifier des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (dépôts de fer, dégagement de H₂S etc),
- d'évaluer le débit,
- de valider la géologie,
- de compléter ces informations par une discussion avec le propriétaire (variation et pérennité du débit, nom des sources etc).
- de localiser des bâtiments collectifs et de mesurer la distance entre ceux-ci et les points d'eau.

Résultats de la visite de terrain

L'ensemble des données collectées en bibliographie et sur le terrain sont synthétisées dans les fiches descriptives issues de la base de données. Un exemple de fiche est disponible en annexe 8.

La synthèse des informations obtenues sur le terrain est reprise dans l'illustration 30 :

Il paraît important de rappeler que ces travaux ne permettent pas de remplacer les études de faisabilité détaillées de chaque site qui restent indispensables en amont de toute prise de décision et lancement de travaux.

Code_BSS	X_L3	Y_L3	Lieu_dit	Commune	Dept	Remarques Visite	Date_Analyse	Temp	pH	C_a_20	Nom propriétaire	Adresse	Atlas sur la géothermie très	Note d'intérêt technique	Note d'intérêt d'intérêt sur plan socio-économique	Remarques sur note d'intérêt	Commentaire des synthèses dépt (Nartet/Soulé)	
10737X0004/HY	486820	3064900	SOURCE COURTHEIL OU DU-HAUT - LE PRADEAU	Sentein	09	Les conditions climatiques ont rendu impossible la visite du point d'émergence. La commune a mis en place une canalisation depuis le point d'émergence jusqu'à la rive droite du ruisseau. On a ainsi au même endroit une sortie des eaux de Courtheuil (Pradeau) et de la Source du Mich. Les analyses ont été réalisées en ce point. Le débit observé est faible, mais tous les écoulements ne sont pas canalisés par cette conduite.	39192	12,5	6,85	426	Commune de Sentein	Place de l'Eglise	09800 SENTEIN	0561967362	MOYEN	MOYEN	Source située à côté de la colonie de Vacances. Le débit est faible mais possibilité de chauffage à regarder	Peu d'intérêt
10737X0025/HY	486531	3064871	Source du Mich	Sentein	09	La source sort directement à l'affleurement des schistes.	39192	9,5	6,78	583	Commune de Sentein	Place de l'Eglise	09800 SENTEIN	0561967362	MOYEN (si recaptage et après évaluation des débits réels)	MOYEN	'Source située à côté de la colonie de Vacances. Le débit est faible mais possibilité de chauffage à regarder	Peu d'intérêt
10336X0020/HY	481180	3105260	SOURCE BARTETE	Boussan	31	Le puits d'émergence et la fontaine (ou buvette) ont pu être observé. Au niveau de la fontaine, le débit est irrégulier, mais toujours présent. Il existe de nombreuses canalisations et écoulements dans la propriété : le cheminement des différentes sorties d'eau est complexe est impossible à carter. Le lavoir de la source dite "communale" dans la bibliographie a disparu. La source est canalisée et s'écoule dans un fossé. Les analyses in-situ ont été réalisées à ce niveau. Son débit reste faible (environ 2 l/min). La physico-chimie montre qu'il s'agit de la même eau que la source Barthète.	39195	16,5	6,9	625	M et Mme. 'LEGE	Barthete	31420 BOUSSAN	0877034254	FORT	FAIBLE	'Source un peu chaude et à bon débit, mais privée et loin de tout bâtiment collectif (1,5 km)	
08093X0026/HY	546654	3298269	Saint Félix ou Sanitas	Saint Michel de Bannières	46	Bâtiment situé dans une prairie naturelle avec traces de tracteur (vraiment publique ?). La porte du bâtiment de captage est fermée avec une simple ficelle. Le débit semble assez faible (0,5 m3/h à vue d'œil).	39190	14,8	7,03	2340	Commune de St Michel de Bannières	Le Bourg	46110 ST MICHEL DE BANNIERES	0562324459	FAIBLE	FAIBLE	'Concentrations importantes en fer. Source située loin des bâtiments communaux, débit faible et température peu élevée	
10723X0035/HY	459707	3075821	Le Lac	SIRADAN	65	La nouvelle émergence est située en bord de route principale. Elle est accessible à tous et est indiquée comme potable (contrairement à la sortie de la source ferrugineuse, située juste à côté). Les sorties d'eau sont situées devant le bâtiment ASEI Centre Auguste Valats. Le bâtiment de captage est situé dans ASEI. Non visible.	39192	16,2	7,15	1981	Commune de Siradan	2 chemin Anglade	65370 SIRADAN	0562992414	FORT	FORT	'Source un peu chaude, à débit régulier avec bâtiment collectif (ASEI) qui surplombe	Chauffage possible par PAC si recaptage
10742X0022/HY	505850	3079050	SCE DES BAINS OU GRDE SCE	Montjoie-En-Cousserans	09	L'établissement thermal est loué sous un bail commercial par le Camping d'Audinac les Bains. Une piscine a été construite devant les thermes, qui servent de vestiaires. Les sources sont valorisées en terme paysagiste. La grande source est surplombée par une bâtiment de captage en bon état. L'eau, très ferrugineuse s'écoule dans un petit fossé.	39192	20,5	6,84	2200	Syndicat du Parc d'Audinac	Mairie de St Girons	09200 ST GIRONS		FORT	MOYEN	Source chaude située dans le camping. Son écoulement constitue un élément paysager, donc peu de probabilité que le camping souhaite supprimer l'écoulement pour un projet de chauffage.	Chauffage par PAC possible pour des locaux situés autour des sources
10742X0038/HY	505900	3079040	SOURCE DES YEUX AUDINAC-LES-BAINS	Montjoie-En-Cousserans	09	Il est supposé que la source des Yeux est situé dans une petite vasque alimentant un ruisseau, juste de l'autre côté des fils électriques. Le point précis d'émergence n'a pas pu être identifié. Les mesures sont réalisées dans la vasque.	39192	14,5	7,09	1253	Syndicat du Parc d'Audinac	Mairie de St Girons	09200 ST GIRONS		MOYEN	MOYEN	Source très peu chaude situées dans le camping. Son écoulement constitue un élément paysager, donc peu de probabilité que le camping souhaite supprimer l'écoulement pour un projet de chauffage	Chauffage par PAC possible pour des locaux situés autour des sources
08827X0019/HY	574949	3228956	SOURCE NOTRE-DAME DES TREIZE PIERRES	VILLEFRANCHE DE ROUERGUE	12	Dépôts ferrugineux importants dans tout le bâtiment de captage	39281	15,2	2450	6,9	Commune de Villefranche de Rouergue	prom Guiraudet	12200 VILLEFRANCHE DE ROUERGUE	05 65 65 16 20	FORT	FORT	Source située en bord de route, non loin d'une ZAC et de bâtiments collectifs. Le trop plein rejoint le ruisseau de Notre Dame des 13 Pierres.	
10555X0041/HY	470069	3084583	GRANDE SOURCE SALOMON	ENCAUSSE LES THERMES	31	Le bâtiment des thermes a été racheté fin 2004 par la commune, soucieuse de remettre l'eau de source à disposition de la population. Le bâtiment des thermes est fermé à clefs et la bâtiment de captage est situé à l'intérieur. Une association "les amis des thermes" s'est créée lorsque la Société Thermale a arrêté la production et laissé la source à l'abandon. Rachat du bâtiment par la commune et recensement du bâtiment. L'objectif est maintenant de refaire la tête de captage pour supprimer les écoulements diffus (qui endommagent les fresques) et de remettre en service la Buvette. La Mairie a pris rendez-vous avec ANTEA (M. Nartet) pour refaire le captage et réaménager le bâtiment de captage. En attendant, un trop plein a été crée, qui coule dans le caniveau d'eau pluviale). Impossible de faire des mesures le jour de la visite. Lors de la visite, trop plein à sec. Le débit semble assez faible.	39192	28	2830	7,25	Mairie d'Encausse-Les-Thermes	Mairie - Allée de Mendic	31160 ENCAUSSE-LES-THERMES	0561897396	MOYEN	FAIBLE	La sources est chaude et située au centre du village (possibilité de chauffer la Mairie, ou Syndicat d'initiative, mais débit faible et volonté de la Mairie de remettre la source à disposition de la population.	Chauffage possible après recaptage

D:\Travail\Atlas géothermie\Technique\Reprise Mélanie\RAPPORT\RAPPORT FINAL

Illustration 30 – Synthèse des informations collectées sur le terrain pour les SCNE et évaluation de leur intérêt géothermique

Seules les sources du Lac de la commune de SIRADAN (65) et celle des 13 Pierres à Villefrance de Rouergue (12) semblent présenter un intérêt certain. La source du Lac est intéressante de part la température de son eau, la constance du débit naturel, qui reste cependant peu élevé (de l'ordre de 3,5 m³/h) pour le chauffage du grand bâtiment collectif situé juste à côté. Reste à savoir si un pompage peut être envisagé pour augmenter le débit tout en restant à l'équilibre avec le taux de renouvellement de la ressource. Une étude technico-économique et une étude de faisabilité pourraient donc être envisagées pour cette source.

La source de 13 Pierres possède un bon débit et une température de l'eau supérieure à 15°C. Elle a l'avantage d'être située dans la ville, près d'une ZAC.

Il faut également signaler que pour les autres sources et forages d'eau chaude non exploités, inventoriés par la Région Midi-Pyrénées, les résultats de cette première analyse doivent être validés et complétés par des études de faisabilité permettant de définir plus précisément les possibilités de valorisation thermique.

7. Evaluation du potentiel géothermique des deux principaux aquifères de Midi-Pyrénées : nappes alluviales et Sables Infra-molassiques

7.1. METHODOLOGIE ET DONNEES DISPONIBLES

7.1.1. Méthodologie

La définition de potentiels géothermiques de basse ou très basse énergie nécessite une connaissance spatialisée d'un certain nombre de paramètres. Il s'agit notamment de préciser :

- la géométrie de l'aquifère, c'est-à-dire son toit (sa limite supérieure) et son mur (sa limite inférieure) ainsi que sa limite d'extension ;
- la profondeur du niveau piézométrique, qui dans le cas d'un aquifère à nappe libre correspond au niveau de la nappe, ainsi que l'épaisseur de la nappe.
- la productivité de la partie mouillée de l'aquifère, que l'on caractérise par sa transmissivité ;
- la température de l'eau de nappe ;
- la qualité physico-chimique de l'eau de nappe, notamment son caractère corrosif ou entartrant. Ce paramètre est idéalement mesuré par l'indice de Ryznar I_R , qui est égal à : $I_R = 2 \text{ pHs} - \text{pH}$. Le pH de saturation (pHs) est déterminé à partir de la température, de la salinité totale, de l'alcalinité (TAC) et de la teneur en calcium. En pratique, cet indice est relativement complexe à calculer et est rarement rencontré dans la littérature : on s'attend à ne trouver que peu voire aucune valeur.

La spatialisation de ces paramètres a été effectuée sous la forme d'un maillage couvrant la totalité de la région Midi-Pyrénées. La maille de ce découpage est carrée et mesure 500 mètres de côté. Les illustrations 31 et 32 représentent respectivement un zoom de ce maillage sur le secteur de la ville de Toulouse et sa banlieue, ainsi que sur la commune de Ramonville-Saint-Agne (fond IGN Scan 100).

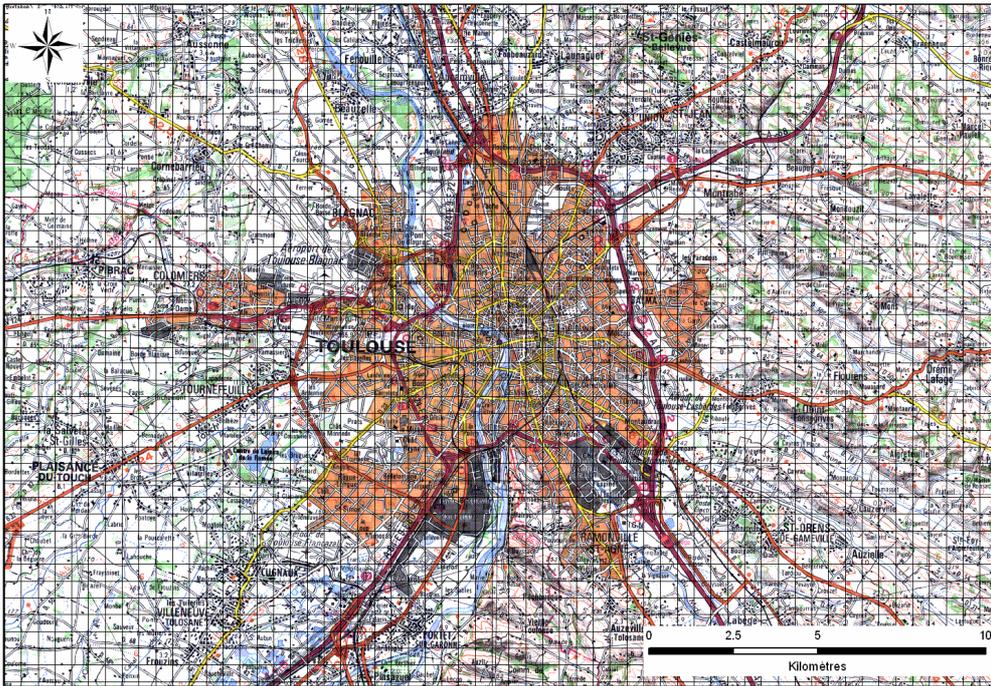


Illustration 31 - Extrait du maillage au pas de 500 m sur Toulouse et sa banlieue (fond IGN Scan 100)

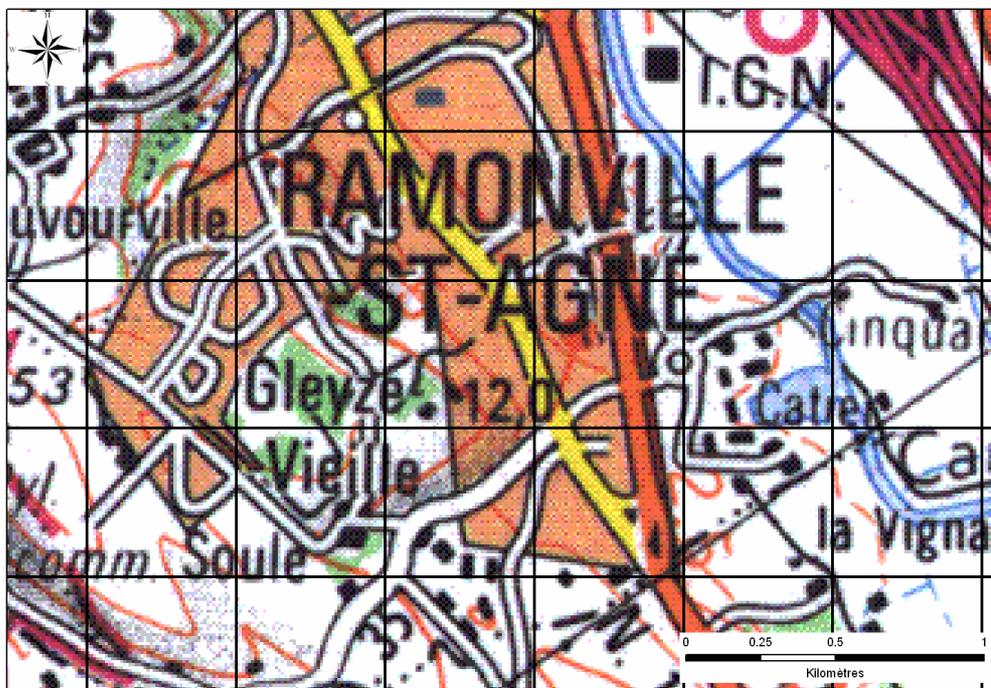


Illustration 32 : Extrait du maillage : zoom sur Ramonville-Saint-Agne (fond IGN Scan 100)

L'étude portant sur les aquifères alluviaux et sur celui des sables infra-molassiques, toutes les mailles définies ne sont pas concernées par l'étude. Des cellules « actives » ont donc été identifiées, sur la base :

- des limites définies dans la BDRHF-V1 pour les aquifères alluviaux. En effet, le Référentiel Hydrogéologique Français, version 1, est actuellement la référence nationale en matière de délimitation des aquifères de façon intrinsèque ;
- Néanmoins, la BDRHF-V1 ne portant que sur les aquifères de surface, elle n'a pu être utilisée pour les sables infra-molassiques (SIM). L'extension géographique des SIM a été précisée lors des travaux préalables à la réalisation du Modèle Sud-Aquitain. Cependant, la quasi-totalité des études réalisées sur cet aquifère n'a porté que sur sa partie sud, compte tenu notamment de l'existence des stockages de gaz de Lussagnet et Izaute. Il a donc été nécessaire de se limiter à ce dernier secteur, en l'absence de données portant sur l'ensemble de son extension. La délimitation concrète du territoire couvert par cette étude a été effectuée sur la base de l'extension du Modèle interrégional Sud Aquitain.

La zone alluviale est ainsi couverte par 18620 mailles, tandis qu'il en existe 39281 pour les Sables Infra-Molassiques.

Deux cartes placées en annexe 10 présentent l'extension géographique – sous forme de maillage – des deux ensembles aquifères considérés. L'extension réelle des sables Infra-molassiques est également portée sur cette carte.

Une fois ce maillage défini, la spatialisation des paramètres précédemment cités a démarré. Pour ce faire, on s'est attaché à :

- identifier, collecter et évaluer la pertinence des données existantes permettant de caractériser ces différents paramètres ;
- créer une géologie simplifiée et homogène des zones alluviales de l'Adour et de la Garonne. Cette étape fut indispensable en vue de définir des zones de débit homogène (cf. ci-après). Pour le Lot, ce travail n'a pas été nécessaire dans la mesure où l'harmonisation des cartes géologiques au 1/50000^{ème} à l'échelle du département a déjà été effectué: la totalité de la zone alluviale du Lot est couverte ;
- spatialiser les données de géométrie des aquifères et de piézométrie (ponctuelle, linéaire, zonale) par interpolation dans la limite des zones alluviales ou de celles des SIM et à en contrôler les résultats ;
- définir des zones dites homogènes du point de vue de la productivité des aquifères et les caractériser en termes de débits potentiels d'exploitation ;
- définir des zones homogènes en température de la nappe et les caractériser à partir des données disponibles dans la base ADES.

Cette spatialisation des paramètres a été effectuée sous S.I.G., donnant naissance à différents formats de données : polygones, points, polylignes, grilles. Les informations attributaires ont ensuite été transférées à la couche du maillage, soit géographiquement, soit par jointure entre identifiants communs (utilisation d'une clef primaire).

Enfin, les données collectées et élaborées au cours de l'étude ont été stockées dans une base de données ACCESS.

7.1.2. Données, modèles et outils

Données

La conception du SIG a nécessité de gérer quatre types d'objets :

- les points : sondages, points d'eau, données ponctuelles etc...,
- les polylignes : limites, cours d'eau etc...,
- les polygones : unités géologiques, unités hydrogéologiques etc...
- et les grilles : constituant le noyau central du SIG et dans lesquelles toutes les informations structurantes seront stockées.

Les données utilisées pour renseigner le SIG régional sont les suivantes :

- La Banque de données du Sous-Sol (BSS) : les principales sources d'information ponctuelles existant en matière d'eaux souterraines en France sont stockées dans la banque de données ADES et la Banque du Sous-Sol.

La Banque du Sous-Sol a été consultée afin de collecter des données sur la géométrie des alluvions, la piézométrie, la productivité des aquifères (transmissivité, débit spécifique, rabattement, débit) et la physico-chimie des eaux (température, conductivité, pH, dureté,...).

- ADES : Une extraction de la banque nationale ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) a été effectuée : elle a porté sur des données physico-chimiques (température, conductivité, pH, dureté,...).
- Le Modèle Numérique de Terrain au pas de 50 mètres de l'IGN (grille au sens SIG) a été utilisé pour définir la géométrie du toit des aquifères alluviaux de Midi-Pyrénées.
- Les résultats des campagnes piézométriques effectués dans le cadre des modèles Tarn-et-Garonne, Haute-Garonne et Ariège ont également été valorisés.

- L'étude réalisée en 1997 par J-M Gandolfi sur la piézométrie des nappes alluviales de la Garonne (BRGM Rapport n°39404) a permis d'extraire une carte piézométrique homogène des alluvions de la Garonne sous forme de polygones. Ces objets ont été reportés sur une grille au pas de 100 m, limitée aux zones de données. Les valeurs moyennées et de médiane ont été ensuite affectées à des cellules de 500 m de côtés, ajoutées par la suite à la grille régionale de Midi-Pyrénées.

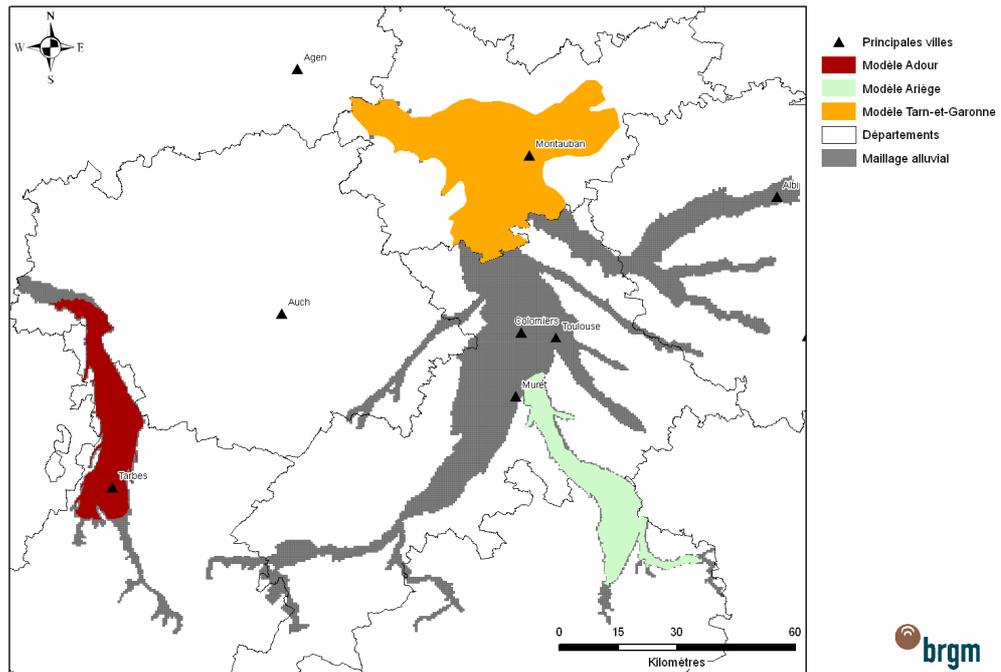


Illustration 33 : Zones couvertes par les modèles de l'Adour, de l'Ariège et du Tarn-et-Garonne

- Modèle de la nappe alluviale du Tarn-et-Garonne : ce modèle hydrodynamique en régime transitoire de la nappe alluviale de la Garonne, du Tarn et de l'Aveyron dans le département du Tarn-et-Garonne a été réalisé à partir de mailles de 250 m de côté. Il est actuellement achevé et un l'outil de gestion permettant d'adapter les autorisations de prélèvements agricoles à l'état de la recharge est en cours de finalisation. Ce modèle a permis d'extraire des données sur la cote topographique du toit des alluvions, la cote du substratum, la piézométrie simulée, et les zones de perméabilité de calage.
- Modèle de la nappe alluviale de l'Ariège : ce modèle est réalisé dans un objectif de prolongement du modèle du Tarn-et-Garonne à l'ensemble du système alluvial de la région (sauf la nappe Adour, déjà modélisée). Ainsi, la taille du maillage utilisé est également de 250 m de côté. Les travaux de modélisation et de calage sont en cours, mais ont permis d'extraire le semis de la cote du toit et du substratum des alluvions, ainsi qu'une première définition de zones de perméabilité.

- **Modèle de la nappe alluviale de la Haute-Garonne** : ce modèle, permet de couvrir l'ensemble du domaine alluvial Garonne-Ariège, Tarn et Aveyron. L'étude est en cours de démarrage et le modèle hydrodynamique n'a pas été encore établi. Cependant, il est possible de valoriser l'étude bibliographique réalisée sur les alluvions de la Garonne dans le département de la Haute-Garonne, ainsi que la collecte de données sur la productivité des ouvrages (essais de pompage). Une modélisation géologique de l'interface alluvions-molasses est en cours de réalisation, mais n'a pas pu être exploitée pour les besoins de l'étude. Ces résultats pourront si nécessaire être valorisés en 2007.
- **Modèle de la nappe alluviale de l'Adour**: un modèle hydrodynamique de la nappe alluviale de l'Adour a été réalisé par le bureau d'étude BURGEAP, avec un maillage de 250 m de côté. Les données de substratum et de piézométrie ont pu être récupérées et valorisées dans le SIG régional. Dans ce secteur, la cote du toit des alluvions a été calculée à partir du MNT au pas de 50 m moyenné sur des cellules de 500 m de côté.
- **Modèle Sud Aquitain (BRGM Aquitaine)** : ce modèle multicouche et inter-régional (Aquitaine et Midi-Pyrénées) inclut une modélisation hydrodynamique de la formation des Sables Infra-molassiques. Ce modèle fournit au pas de 2 km les cotes du toit et du mur de l'aquifère, ainsi que les charges simulées (cote piézométrique) et les zones de perméabilité.

On se reportera par ailleurs à la bibliographie pour une liste indicative des documents consultés dans le cadre de l'étude.

Outils

L'outil utilisé pour la conception du SIG est ArcGIS v 9. Cet outil de cartographie permet de travailler sous ACCESS par la création de bases de données géoréférencées : « géodatabases ». Il permet d'allier la puissance d'un logiciel de cartographie avec celle d'un gestionnaire de base de données.

Modèle

L'objectif du projet est de concevoir un outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie. Cet outil doit donc permettre de connaître le potentiel géothermique des nappes alluviales et de la nappe des Sables Infra-molassiques sur l'ensemble du territoire régional. Il a donc été décidé de créer un maillage de 500 m de côté couvrant l'ensemble de la région Midi-Pyrénées, cette grille étant liée à une géodatabase ACCESS contenant l'ensemble des données structurantes (toit, mur, épaisseur des alluvions, débits d'exploitation, température, physico-chimie). Une analyse multi-critères sera réalisée en 2007 et permettra d'attribuer une note de potentiel géothermique des aquifères. Ainsi, la sélection d'une maille permettra de connaître le potentiel géothermique du ou des aquifères situé(s) à cet endroit.

7.2. DETERMINATION ET REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES PARAMETRES NECESSAIRES A LA DEFINITION D'UN POTENTIEL GEOTHERMIQUE

7.2.1. Géologie simplifiée

La géologie de la région Midi-Pyrénées est connue au travers des cartes géologiques au 1/50000^{ème}. Celles-ci ont été récemment vectorisées mais n'ont pas été encore harmonisées, sauf en ce qui concerne les départements des Hautes-Pyrénées et du Lot.

La géologie vectorisée comporte 269 formations géologiques différentes, qui sont distinguées par un code spécifique. Ces formations ont été définies par des auteurs distincts n'utilisant pas systématiquement les mêmes dénominations : il a donc été nécessaire de simplifier et d'harmoniser ces codes, notamment aux limites entre cartes géologiques. Bien entendu, ce sont les données géologiques harmonisées qui ont été utilisées lorsqu'elles existaient.

La démarche suivie a consisté à regrouper les formations décrites dans les classes précisées dans l'illustration 34.

Code	Description
Prim_so	Primaire / socle
Creta	Crétacé
Jur	Jurassique
mol	Formations molassiques
Fmol	Alluvions issues des molasses
Fsoli	Alluvions solifluées
Fuvw	Alluvions des hautes terrasses (Mindel et glaciations précédentes)
Fx	Alluvions des moyennes terrasses (Riss)
Fy	Alluvions des basses terrasses (Würm)
Fz	Alluvions de la basse plaine de la Garonne et alluvions modernes des autres cours d'eau
Fzz	Alluvions récentes du lit majeur de la Garonne
G	Formations morainiques
Col_Eb	Colluvions et éboulis
X	Sol historique de Toulouse

Illustration 34 : Classes géologiques retenues lors de la simplification de la carte géologique

Ces classes ont été identifiées en s'appuyant sur une réflexion axée sur la lithologie et la structure des formations du Plio-Quaternaire et notamment des formations alluviales. Cette approche nous a semblé essentielle en milieu alluvial en vue de caractériser la productivité des formations.

Dans cette idée, il était souhaitable par exemple de pouvoir identifier les alluvions des cours d'eau secondaires développées essentiellement à partir des molasses sachant qu'elles possèdent une granulométrie fine et présenteront donc *a priori* une perméabilité faible. De la même manière, les colluvions et éboulis ont été isolés des formations présentant une absence de structuration défavorable à l'écoulement et des alluvions solifluées (c'est-à-dire des alluvions initialement présentes sur des terrasses

et ayant glissé sous forme de coulées boueuses le long d'une pente. Ces formations sont généralement colmatées par une matrice argileuse et sont donc souvent peu perméables).

Le résultat obtenu, à savoir une carte géologique simplifiée à l'échelle des alluvions de la Garonne et de l'Adour, est présent en annexe 11.

D'un point de vue technique, ce travail a été effectué sous S.I.G., par la création d'une couche vectorielle constituée de polygones. Il a donc été nécessaire de transférer cette information polygonale aux mailles de 500 mètres de côté constituant la base de travail. Plusieurs formations géologiques pouvant être présentes sur une même maille, il a été décidé de retenir la formation géologique prépondérante en termes de superficie. Le nombre de formations géologiques (issues des cartes géologiques au 1/50000^{ème}) découpant chaque maille de 500 m par 500 m a été indiqué dans le but de pouvoir disposer d'un regard critique sur la représentativité de la géologie retenue.

7.2.2. Géométrie des alluvions et des Sables Infra-molassiques

Sables Infra-molassiques

Comme indiqué dans la partie précédente, le Modèle Sud-Aquitain (MSA) a été utilisé pour caractériser la géométrie des sables infra-molassiques.

Les valeurs disponibles au pas de deux (2) km n'ont pas été interpolées afin de ne pas dégrader la qualité de l'information disponible initialement, en risquant par exemple de ne pas tenir compte de l'existence de failles. Les mailles de 500 m de côté ont donc été renseignées directement – en termes de mur et de toit des Sables Infra-Molassiques – à partir de la valeur de la cellule du MSA dans laquelle elle est contenue.

Les cartes du toit, du mur et de l'épaisseur de l'aquifère ont été placées en annexe 12. Elles ont été constituées à partir des données importées dans le maillage de l'étude.

Zones alluviales

Le toit des formations alluviales correspondant à la topographie, il a été déterminé à partir du Modèle Numérique de Terrain de l'IGN au pas de 50 mètres. La valeur qui a été renseignée dans le maillage correspond à la moyenne des altitudes des cellules du MNT (de 50 m de côté) contenues dans chaque maille de 500 m de côté.

La carte du « toit » des alluvions est portée en annexe 14.

Pour définir le substratum des alluvions, la démarche suivante a été adoptée :

- utilisation des données des modèles Tarn-et-Garonne, Ariège et Adour. Ces modèles ont une maille de 250 mètres. Leur extension a été présentée dans l'illustration n°33 du chapitre précédent ;

- réalisation d'une interpolation par krigeage, par bassin versant des zones alluviales, de la profondeur atteinte par une sélection de puits et forages. Cette sélection a été complétée par des sondages dont la coupe géologique a été détaillée à partir des dossiers papier de la Banque du Sous-Sol. Près de 8400 points ont été utilisés, dont 164 sondages. Une trentaine de points de contrôle créés à partir des données bibliographiques a également été ajoutée ; ils ont été positionnés sur des affluents secondaires insuffisamment couverts par les données issues de la BSS (Agout, Dadou, Girou, Salat, Saune et Save). La carte des points utilisés est placée en annexe 13. Les résultats de cette interpolation ont été comparés aux valeurs des modèles et utilisés en leur absence.
- dans le bassin du Lot, l'insuffisance des données (20 points) et le caractère très encaissé de la vallée a conduit à préférer une détermination des épaisseurs par zones, à partir de coupes rencontrées en bibliographie (notamment la coupe en long du rapport BRGM / 74SGN002MPY). Cette méthode a également été utilisée dans les parties amont de l'Adour et de la Garonne.
- dans les zones interpolées, la validité de l'interpolation a été contrôlée par l'épaisseur estimée des alluvions et des corrections ont été apportées, principalement en matière d'épaisseur minimale dans la vallée de la Garonne (prise à 1,50 m pour la basse plaine et les terrasses Fy, Fx, Fw et Fu) et d'épaisseur maximale (35 m pour les alluvions de l'Adour).

Les cartes obtenues du substratum des alluvions et de leur épaisseur sont consultables en annexe 14.

7.2.3. Piézométrie des aquifères alluviaux et des Sables Infra-molassiques

Sables Infra-molassiques

De même que pour la géométrie de l'aquifère, la piézométrie utilisée a été celle calculée par le Modèle Sud-Aquitain.

La carte du niveau piézométrique est présentée en annexe 15.

Domaine alluvial

Dans le bassin versant de l'Adour, les charges calculées dans le cadre du modèle ont été rapportées aux cellules du maillage principal. Cependant, le modèle ne couvrant pas la totalité de la zone alluviale, il a été nécessaire de compléter ces valeurs à partir des données disponibles en Banque du Sous-Sol, soit 436 points d'eau disposant d'une valeur de niveau d'eau sur le bassin. Une interpolation par krigeage a été effectuée.

Dans les bassins versants de la Garonne et du Lot, une interpolation similaire a été conduite, portant sur environ 9500 points d'eau, dont 800 environ sont issus des campagnes piézométriques conduites sur le Tarn-et-Garonne, la Haute-Garonne et l'Ariège dans le cadre de la réalisation des modèles hydrogéologiques. Cette interpolation, bien que basée sur des données souvent asynchrones, a été préférée à l'utilisation de la carte piézométrique harmonisée des alluvions de la Garonne pour les raisons suivantes :

- l'information attributive de la carte piézométrique est disponible sous forme de cote, au pas de 2,50 m à 5 m en fonction des zones, ce qui rend son utilisation délicate lorsqu'elle est rapportée à une maille de 500 m dont la topographie a été moyennée.
- au second plan, la piézométrie harmonisée ne couvre pas la totalité des zones alluviales.

L'ensemble des points utilisés dans le cadre de l'interpolation des niveaux d'eau est cartographié en annexe 16. De même, la carte piézométrique proposée pour les alluvions est consultable en 17.

7.2.4. Détermination de la productivité des aquifères

En préambule de cette partie, il convient de rappeler la nature extrêmement hétérogène des aquifères alluviaux. Cette hétérogénéité est présente dans leur lithologie, c'est-à-dire dans la nature des éléments qui les compose (argiles, sables, graviers,...) mais aussi dans l'épaisseur des dépôts présents actuellement.

Cette hétérogénéité intervient au sein d'une seule et même terrasse alluviale. De fait, les éléments fournis dans les paragraphes suivants, qui visent à identifier des ensembles au fonctionnement qualifié par la suite d'« homogène », doivent être considérés comme des indicateurs n'ayant en aucun cas une valeur systématique.

- **Sables Infra-molassiques**

Concernant les sables infra-molassiques, l'existence d'un modèle couvrant la majeure partie de la zone connue de l'aquifère conduit à utiliser ce dernier et notamment le jeu de perméabilités qui a été élaboré. Les valeurs de perméabilité ont été portées dans le maillage principal et multipliées par l'épaisseur de l'aquifère pour obtenir une transmissivité. Cette dernière pouvant atteindre 750 mètres, il est entendu que :

- un forage réalisé dans ces conditions ne captera pas la totalité de l'aquifère ;
- en conséquence, l'ensemble de la colonne d'eau ne participe pas alors à l'écoulement au niveau de l'ouvrage.

De fait, il a été considéré qu'une épaisseur maximale de 50 mètres pouvait participer à l'écoulement. C'est ce qui a été pris en compte dans le calcul de la transmissivité.

Une carte des perméabilités et des transmissivités a été placée en annexe 12.

- **Zones alluviales**

Choix du paramètre utilisé

L'étude de la productivité des aquifères est basée sur la connaissance de la transmissivité, produit de l'épaisseur d'une nappe par sa perméabilité. Les valeurs de transmissivité (exprimées en m^2/s) sont acquises par le biais de pompages d'essai de longue durée, souvent lourds à réaliser à titre privé. De fait, leur nombre est assez limité et l'information disponible en BSS insuffisante au regard de l'extension de la zone d'étude. A titre d'exemple, seule une vingtaine de valeurs de transmissivité a été recensée sur la zone couverte par le modèle réalisé sur le Tarn et Garonne.

Par défaut, le paramètre utilisé peut alors être le débit spécifique, rapport entre le débit d'un puits ou d'un forage et le rabattement induit à l'équilibre dans l'ouvrage lui-même. Ce paramètre, dont l'unité est identique à celle de la transmissivité (bien que le plus souvent exprimée en $m^3/h/m$), diffère de cette dernière par la prise en compte des pertes de charges liées à l'ouvrage : on ne mesure plus directement la productivité de l'aquifère mais sa capacité à être extraite par des ouvrages (puits ou forages).

Sur 578 ouvrages disposant d'une valeur de débit en Banque du Sous-Sol, seuls 58 disposent d'une valeur de rabattement. Comme pour la transmissivité, cet échantillon n'est pas suffisant pour chercher à définir des zones de débits homogènes.

Ainsi, en l'absence de données de transmissivité ou de débits spécifiques suffisamment nombreuses au regard de la zone d'étude, il a été décidé de travailler directement avec les débits. Ce choix conduit à une approche globalisante (en termes d'effets intervenants dans la dynamique de sollicitation d'un aquifère) et finalement assez empirique (on ne s'intéresse plus au détail de la dynamique mais on s'appuie sur l'existant pour fournir une représentation acceptable des conditions réelles de captage de la ressource) des capacités d'exploitation des ressources en eaux souterraines.

Spatialisation des débits en zone alluviale

Les 578 points d'eau identifiés en Banque du Sous-Sol et en bibliographie – et pour lesquels une information relative au débit était disponible – ont été localisés sous SIG (cf. carte des débits en annexe 19).

Pour chacun d'entre eux, la formation géologique captée a été précisée, ainsi que le bassin versant correspondant (Adour, Garonne ou Lot). Ceci a été effectué, pour les

ouvrages de profondeur inférieure à 35 mètres, par un rapprochement géographique en utilisant la carte géologique au 1/50000^{ème} – chose possible compte tenu de l'existence d'un seul aquifère sur cette profondeur dans la plupart des secteurs. Des corrections ont ensuite été apportées « à la main » lorsque des informations spécifiques existaient en Banque du Sous-Sol (coupes géologiques détaillées dans leur partie alluviale).

L'information géologique portée a ensuite été simplifiée conformément à la méthodologie utilisée lors de la réalisation de la carte géologique simplifiée de la Garonne.

Ces deux critères – la géologie simplifiée et le bassin versant – ont servi à proposer une première décomposition du domaine alluvial en zones de débits supposés homogènes. Les résultats d'un traitement statistique simple sur les valeurs de débits figurent dans l'illustration 35 :

Zone	Nb de points	Nb de valeurs	1er quartile	Médiane	3e quartile
Adour et Fuvw	10	10	18.5	28.0	30.0
Adour et Fx	16	16	11.8	42.5	46.3
Adour et Fy	80	75	25.0	60.0	77.5
Adour et Fz	29	29	12.0	25.0	50.0
Adour et Moraines	1	1	10.0	10.0	10.0
Adour et Jurassique	1	1	1.5	1.5	1.5
Garonne et Fmol	2	2	6.0	6.0	6.0
Garonne et Fsol	1	1	0.9	0.9	0.9
Garonne et Fx	22	19	0.9	4.8	15.0
Garonne et Fy	170	156	6.0	17.5	31.3
Garonne et Fz	186	176	10.0	28.5	50.0
Garonne et Fzz	12	12	27.0	38.0	45.0
Garonne et prof. > 35 m	30	27	3.5	8.0	12.0
Garonne et molasses	4	3	0.6	1.0	1.1
Lot et Fz	8	8	19.8	39.5	60.0
Lot et Jurassique	2	2	52.8	90.5	128.3
Lot et prof. > 35 m	4	3	10.7	14.4	35.7

Illustration 35 : Répartition des valeurs de débits en quartiles par bassin versant et géologie simplifiée

Il est possible de se reporter à l'annexe 9 pour consulter quelques rappels de statistiques.

Tout d'abord, il est bien évident que l'inégale répartition des valeurs de débit dans les différentes classes proposées rend la pertinence des résultats extrêmement diverses (une seule valeur par exemple pour les formations morainiques ou le Jurassique de l'Adour, ainsi que pour les alluvions solifluées de la Garonne). Concernant le Lot, il apparaît d'ores et déjà que la faiblesse – en nombre – des échantillons ne permet pas une exploitation au pied de la lettre de ces résultats.

Ceci étant rappelé, les valeurs obtenues pour les terrasses de l'Adour excèdent fortement celles de la Garonne. Si des diversités lithologiques et de mise en place des alluvions peuvent être évoquées (le bassin versant de l'Adour ne s'étend – contrairement à celui de la Garonne – que sur les piémonts des Pyrénées), on peut par ailleurs avancer la plus faible épaisseur des alluvions de la Garonne et de la nappe associée comme facteur influent sur les débits (cf. Illustration 36).

BASSIN	GEOLOGIE	NB MAILLES	ALLUVIONS	EAU
ADOUR	Fuvw	156	15.9	10.6
	Fx	523	17.4	11.1
	Fy	1130	15.4	11.8
	Fz	620	11.2	7.7
GARONNE	Fuvw	40	9.5	6.1
	Fx	1596	8.5	4.3
	Fy	5892	7.5	4.1
	Fz	6590	6.2	3.2
	Fzz	506	6.9	3.6
LOT	Fuvw	43	6.1	1.8
	Fx	84	5.5	1.6
	Fz	131	6.0	1.8

Illustration 36 : Epaisseur moyenne des alluvions et des nappes correspondantes dans les bassins versants de l'Adour, de la Garonne et du Lot

Enfin, les valeurs obtenues pour les différentes terrasses et la basse plaine des bassins versants de l'Adour et de la Garonne respectent globalement l'évolution attendue *a priori*, à savoir que la productivité augmente inversement à l'âge des terrasses. Une exception notable réside dans la valeur obtenue pour les alluvions récentes (Fz) de l'Adour, bien plus faible que pour les autres terrasses. Deux éléments peuvent être mis en avant à ce sujet :

- les épaisseurs des alluvions récentes et de la nappe alluviale correspondante sont plus faibles que pour les terrasses plus anciennes ;
- l'extension géographique des alluvions récentes est également plus faible que celle des terrasses plus anciennes.

Ces éléments sont présentés en chiffres dans l'illustration 36 et sont à visualiser sur la carte géologique simplifiée placée en annexe 11, ainsi que sur la carte d'épaisseur des alluvions et celle d'épaisseur de la nappe en annexe 14.

Cependant, cette première décomposition ne permet pas de rendre compte des diversités connues régionalement, telles que celles constituées par la plaine de l'Ariège ou les alluvions du Tarn et de l'Aveyron. De fait, et après plusieurs essais, une seconde décomposition a été proposée, considérant notamment des zones différentes

pour des alluvions d'âge identique : on peut citer l'exemple des alluvions récentes (Fz) de la Garonne, distinguées en zones Tarn et Aveyron, Garonne et Agout / Dadou. Ces différentes zones sont décrites dans l'illustration 37 et sont cartographiées en annexe 20.

Zone	Description
1	Fy du Tarn, de l'Agout et du Dadou
2	Fz du Tarn jusqu'à sa confluence avec l'Agout et le Dadou
3	Fy: basses terrasses de la Garonne développées en rive gauche (+ quelques éléments en rive droite), basses terrasses de l'Aveyron et de la rive droite du Tarn.
4	Fx de la Garonne, développées en rive gauche. Les hautes terrasses de la Garonne (Fw) sont également rattachées à cet ensemble (4 mailles)
5	Fz: basse plaine de la Garonne et du Tarn après sa confluence avec l'Aveyron
6	Fz du Tarn et de l'Aveyron jusqu'à leur confluence
7	Fz de la plaine de l'Ariège
8	Fzz: alluvions actuelles de la Garonne
9	Fy: basses terrasses de la Garonne et du Tarn situées entre les deux cours d'eau.
10	Fy: basses terrasses de la Garonne Amont situées entre Cazères, Saint-Gaudens et Montréjeau
11	Alluvions des affluents secondaires de la Garonne, de l'Ariège et de l'Aveyron (dont Save, Neste, Salat, Hers vif, Hers mort, Saune, Girou et Lère), alluvions de la Garonne à l'amont de Montréjeau et de l'Ariège à l'amont de Varilhes
12	Fu, Fv et Fw de l'Adour
13	Fx de l'Adour
14	Fy de l'Adour
15	Fz de l'Adour
16	Adour amont (affluent inclus). Zone de faible productivité
17	Fz du Lot
18	Hautes et moyennes terrasses du Lot (Fu, Fv, Fw et Fx)
19	Fy de la plaine de l'Ariège
20	Fz de l'Agout et du Dadou
21	Formations jurassiques du Lot: zones à karstification probable.
22	Zones d'éboulis, de colluvions, d'alluvions solifluées ou de molasses. Les mailles "Crétacé" (16 mailles) en font aussi parti car il s'agit des flyschs de l'Albo-Cénomaniens et des marnes du Maestrichtien

Illustration 37 : Description des zones retenues comme étant homogènes en débits

Le même traitement statistique utilisé pour la première décomposition a conduit aux résultats figurant dans l'illustration 37. Si on retrouve pour les terrasses de l'Adour une évolution similaire des débits, la différenciation des terrasses d'âge équivalent dans le bassin de la Garonne en plusieurs zones conduit à obtenir une évolution des débits du même type que celle obtenue pour l'Adour : la nappe des alluvions récentes (zone 8) paraît fournir des débits légèrement plus faibles que la basse plaine (zone 5) plus ancienne.

D'autre part, le faible nombre de valeurs disponibles et la confrontation avec les données bibliographiques conduit à considérer comme non représentatives certaines valeurs obtenues. C'est le cas des zones 10, 17, 18, 20, 21 et 22.

Dans le bassin versant du Lot, trois zones sont présentes.

La zone n°21 correspond aux calcaires et marnes du Jurassique ; les calcaires étant notablement karstifiés dans le secteur. Ainsi, la réalisation d'un forage nécessite de mener une étude préalable, le résultat de la foration étant sinon extrêmement

aléatoire : on peut passer en quelques mètres d'un débit de 100 m³/h pour un rabattement très faible à un forage « sec ». Cette zone – homogène dans son comportement karstique – ne peut donc pas être caractérisée comme l'est une zone alluviale.

Les zones n°17 et n°18 sont peu ou pas fournies en valeurs de débit. La caractérisation de leur productivité sera effectuée sur la base de l'expertise locale.

Présente sur les trois bassins versants, la zone n°22 correspond à des formations peu ou très peu perméables. Ceci est confirmé par les maigres valeurs de débit disponibles, ainsi que par la bibliographie (études de J-C. Soulé de 1981 par exemple). Cependant, des lentilles sableuses ou calcaires présentes dans les molasses sont susceptibles de produire quelques m³/h.

Dans le bassin versant de la Garonne, J-C. Soulé propose pour les zones n°10 (Basses terrasses des alluvions de la Garonne entre Cazères, Saint-Gaudens et Montréjeau) et n°20 (Alluvions modernes de l'Agout et de la Dadou) des gammes de débit allant respectivement de 20 à 100 m³/h et de 1 à 5 m³/h.

En complément des données statistiques brutes, une représentation sous forme de « boîtes à moustaches de Tukey » est proposée dans l'illustration 39 pour la Garonne et en pour l'Adour. Cette représentation permet de rendre compte de l'existence de valeurs atypiques, susceptibles notamment de fausser la représentativité d'une valeur moyenne. La méthode dite des boîtes à moustache est décrite en annexe 9.

Cette représentation fait apparaître une assez bonne homogénéité des échantillons avec assez peu de valeurs situées en dehors des moustaches. Ceci dit, le faible nombre de valeurs disponibles (541 valeurs de débits) conduit à préférer une utilisation des valeurs de quartiles (dont la médiane) à la moyenne. L'influence des valeurs atypiques sur la moyenne est en effet et par exemple notable pour les zones des alluvions récentes de l'Aveyron et du Tarn ou la basse plaine de la Garonne (voir illustration 38).

Zone	Nb de points	Nb de valeurs	1er quartile	Médiane	3e quartile	Description
1	11	10	4,5	8,5	16,6	Fy du Tarn, de l'Agout et de la Dadou
2	6	6	6,1	10,0	21,3	Fz du Tarn jusqu'à sa confluence avec l'Agout et la Dadou
3	98	92	4,5	13,1	30,0	Fy: basses terrasses de la Garonne développées en rive gauche (+ quelques éléments en rive droite), basses terrasses de l'Aveyron et de la rive droite du Tarn.
4	21	18	0,8	4,0	16,5	Fx de la Garonne, développées en rive gauche. Les hautes terrasses de la Garonne (Fw) sont également rattachées à cet ensemble (4 mailles)
5	62	58	21,3	38,9	67,5	Fz: basse plaine de la Garonne et du Tarn après sa confluence avec l'Aveyron
6	40	38	9,3	20,0	30,0	Fz du Tarn et de l'Aveyron jusqu'à leur confluence
7	46	43	9,8	22,0	40,0	Fz de la plaine de l'Ariège
8	16	16	28,4	38,0	45,0	Fzz: alluvions actuelles de la Garonne
9	27	27	20,0	30,0	40,0	Fy: basses terrasses de la Garonne et du Tarn situées entre les deux cours d'eau.
10	1	1	68,0	68,0	68,0	Fy: basses terrasses de la Garonne Amont situées entre Cazères, Saint-Gaudens et Montréjeau
11	34	34	3,5	14,0	33,8	Alluvions des affluents secondaires de la Garonne, de l'Ariège et de l'Aveyron (dont Save, Neste, Salat, Hers vif, Hers mort, Saune, Girou et Lère), alluvions de la Garonne à l'amont de Montréjeau et de l'Ariège à l'amont de Varilhes
12	10	10	18,5	28,0	30,0	Fu, Fv et Fw de l'Adour
13	15	15	14,5	45,0	47,5	Fx de l'Adour
14	79	74	25,0	60,0	75,0	Fy de l'Adour
15	25	25	12,0	25,0	50,0	Fz de l'Adour
16	8	8	4,8	13,0	27,5	Adour amont (affluent inclus). Zone de faible productivité
17	8	8	19,8	39,5	60,0	Fz du Lot
18	0	0	-	-	-	Hautes et moyennes terrasses du Lot (Fu, Fv, Fw et Fx)
19	29	22	6,6	14,3	20,4	Fy de la plaine de l'Ariège
20	2	1	10,0	10,0	10,0	Fz de l'Agout et de la Dadou
21	2	2	52,8	90,5	128,3	Formations jurassiques du Lot: zones à karstification probable.
22	4	3	0,9	1,0	1,1	Zones d'éboulis, de colluvions, d'alluvions solifluées ou de molasses. Les mailles "Crétacé" (16 mailles) en font aussi parti car il s'agit des flyschs de l'Albo-Cénomaniens et des marnes du Maestrichtien
99	34	30	4,3	8,3	13,1	Forages ou puits écartés car d'une profondeur supérieure à 35 m
TOTAL	578	541				

Illustration 38 : Répartition des valeurs de débits en quartiles par zones considérées comme homogènes en débit

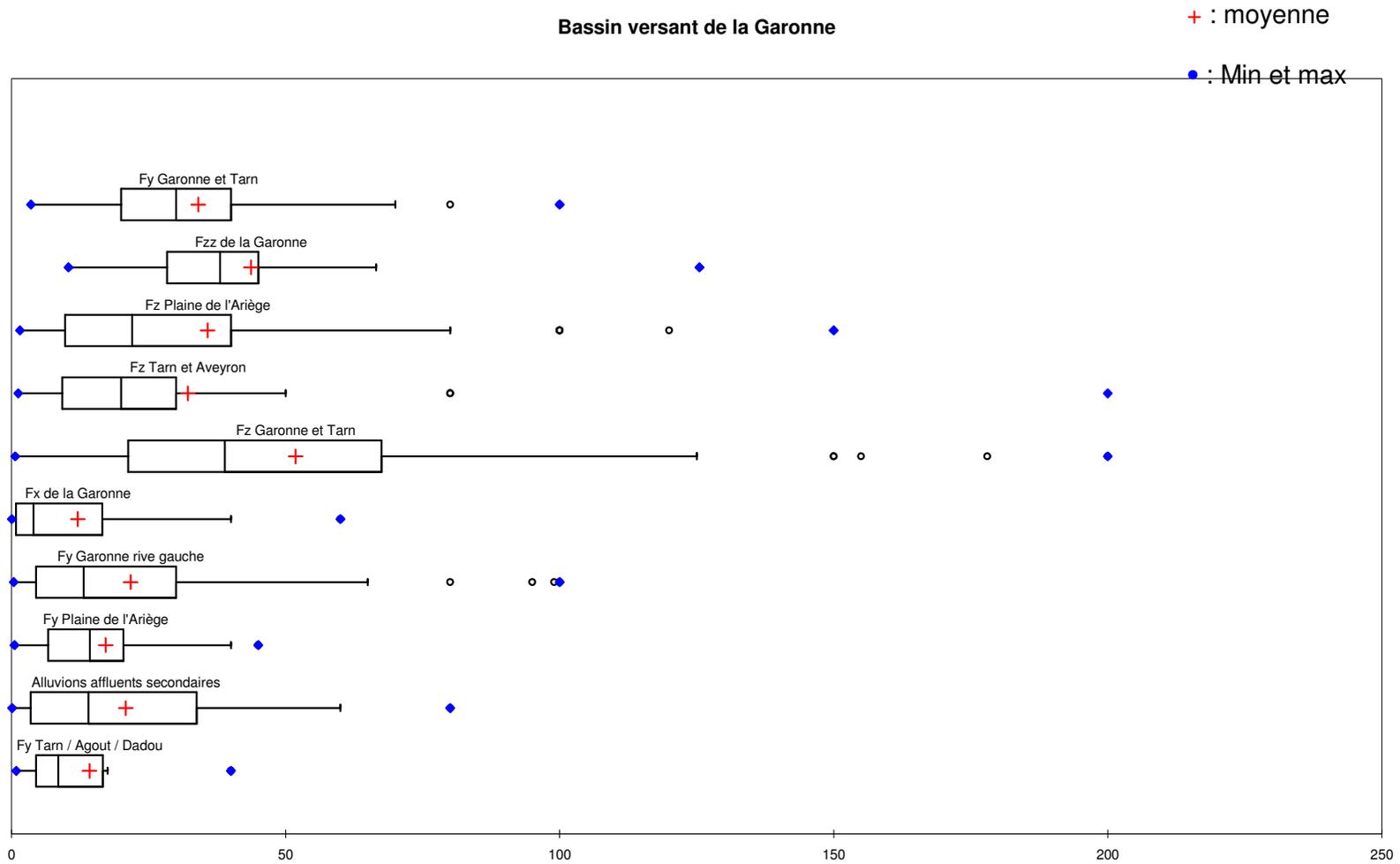


Illustration 39 : Représentation des débits par terrasses alluviales dans le bassin versant de la Garonne ; méthode des «boîtes à moustaches »

Bassin versant de l'Adour

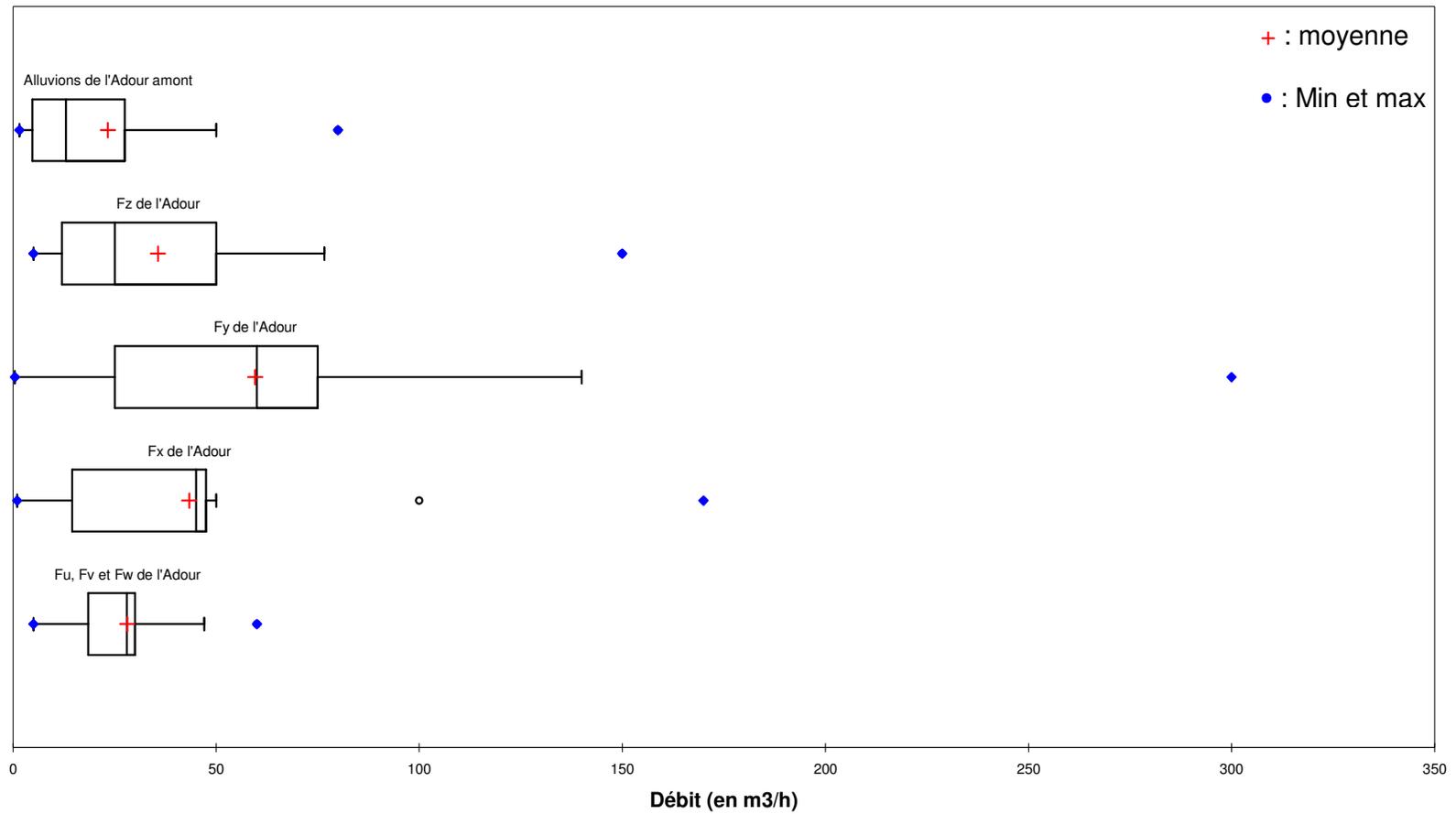


Illustration 40 : Représentation des débits par terrasses alluviales dans le bassin versant de l'Adour ; méthode des « boîtes à moustaches »

En conclusion, une répartition des débits en 22 zones géographiques est retenue. Elle est basée essentiellement sur la géologie des territoires et leur appartenance à un bassin versant ou sous bassin versant. Dans le bassin de la Garonne, cette délimitation est homogène avec celle proposée en 1980 par J-C Soulé (BRGM) dans ses études départementales (Tarn-et-Garonne, Tarn et Haute-Garonne) relatives à la « possibilité d'utilisation des eaux souterraines pour le chauffage par pompes à chaleur ». Le zonage qu'il a proposé à l'époque est présenté sous forme de carte en annexe 21.

Les caractéristiques de productivité retenues pour chacune des zones sont rappelées dans l'illustration 41.

Zone	Description	Commentaires	Nb de points	Nb de valeurs	1er quartile	Médiane	3e quartile
1	Fy du Tarn, de l'Agout et de la Dadou		11	10	4.5	8.5	16.6
2	Fz du Tarn jusqu'à sa confluence avec l'Agout et la Dadou		6	6	6.1	10.0	21.3
3	Fy: basses terrasses de la Garonne développées en rive gauche (+ quelques éléments en rive droite), basses terrasses de l'Aveyron et de la rive droite du Tarn.		98	92	4.5	13.1	30.0
4	Fx de la Garonne, développées en rive gauche. Les hautes terrasses de la Garonne (Fw) sont également rattachées à cet ensemble (4 mailles)		21	18	0.8	4.0	16.5
5	Fz: basse plaine de la Garonne et du Tarn après sa confluence avec l'Aveyron		62	58	21.3	38.9	67.5
6	Fz du Tarn et de l'Aveyron jusqu'à leur confluence		40	38	9.3	20.0	30.0
7	Fz de la plaine de l'Ariège		46	43	9.8	22.0	40.0
8	Fzz: alluvions actuelles de la Garonne		16	16	28.4	38.0	45.0
9	Fy: basses terrasses de la Garonne et du Tarn situées entre les deux cours d'eau.		27	27	20.0	30.0	40.0
10	Fy: basses terrasses de la Garonne Amont situées entre Cazères, Saint-Gaudens et Montréjeau	Echantillon non représentatif. Etude de 1981 de J-C Soulé attribue à cette zone un débit allant de 20 à 100 m3/h	-	-	-	-	-
11	Alluvions des affluents secondaires de la Garonne, de l'Ariège et de l'Aveyron (dont Save, Neste, Salat, Hers vif, Hers mort, Saune, Girou et Lère), alluvions de la Garonne à l'amont de Montréjeau et de l'Ariège à l'amont de Varilhès		34	34	3.5	14.0	33.8
12	Fu, Fv et Fw de l'Adour		10	10	18.5	28.0	30.0
13	Fx de l'Adour		15	15	14.5	45.0	47.5
14	Fy de l'Adour		79	74	25.0	60.0	75.0
15	Fz de l'Adour		25	25	12.0	25.0	50.0
16	Adour amont (affluent inclus). Zone de faible productivité		8	8	4.8	13.0	27.5
17	Fz du Lot	Echantillon non représentatif. Il est nécessaire de se baser sur l'expertise locale	-	-	-	-	-
18	Hautes et moyennes terrasses du Lot (Fu, Fv, Fw et Fx)	Echantillon non représentatif. Il est nécessaire de se baser sur l'expertise locale	-	-	-	-	-
19	Fy de la plaine de l'Ariège		29	22	6.6	14.3	20.4
20	Fz de l'Agout et de la Dadou	Echantillon non représentatif. Etude de 1981 de J-C Soulé attribue à cette zone un débit allant de 1 à 5 m3/h	-	-	-	-	-
21	Formations jurassiques du Lot: zones à karstification probable.	Echantillon non représentatif. La présence de karsts nécessite la réalisation d'une étude préalable à la création de forages.	-	-	-	-	-
22	Zones d'éboulis, de colluvions, d'alluvions solifluées ou de molasses. Les mailles "Crétacé" (16 mailles) en font aussi parti car il s'agit des flyschs de l'Albo-Cénomaniens et des marnes du Maestrichtien	Echantillon trop faible pour être représentatif. Zones de faible perméabilité auxquelles J-C Soulé attribuait "localement et exceptionnellement" en 1981 des débits de quelques m3/h.	4	3	0.9	1.0	1.1

Illustration 41 – Récapitulatif des zones de débit retenues et de leur caractérisation

7.2.5. Aspects physico-chimiques

Température

- **Sables Infra-molassiques**

Les données ponctuelles de température disponibles sur les SIM étant peu nombreuses, il a été décidé de calculer la température des eaux à partir de la connaissance du gradient géothermique et de la profondeur du toit de l'aquifère.

Le gradient géothermique a été déterminé à l'échelle du bassin aquitain lors de l'étude du « Potentiel géothermique du bassin aquitain » réalisé en décembre 1977 par le BRGM pour le compte d'Elf Aquitaine.

Le document cartographique issu de cette étude a été scanné, numérisé, puis interpolé sur la grille de travail pour les mailles concernées par l'aquifère des SIM. Les valeurs de gradient géothermique ont ensuite été multipliées par la profondeur de l'aquifère des SIM au niveau de chaque maille, puis ajouté aux températures calculées pour les nappes alluviales (qui sont elles-mêmes fonction de l'altitude issue du MNT au pas de 50 m). En effet, le gradient géothermique terrestre, implique une augmentation de température avec la profondeur qui doit s'ajouter à une température de surface.

La carte de température des SIM ainsi obtenue est disponible en annexe 24. Les températures calculées sont représentées sous forme de classes de 10°C d'amplitude et les données ponctuelles de températures recensées sur les forages y sont superposées. De manière générale, il existe une bonne cohérence entre les valeurs calculées et les valeurs observées.

- **Domaine alluvial**

Deux sources principales d'information sont susceptibles de fournir des valeurs de température des eaux souterraines : la Banque du Sous-Sol et la banque des eaux souterraines ADES. Les informations de température disponibles en BSS sont très hétérogènes dans leur origine : la mesure de température qui a été transmise au BRGM a pu aussi bien être effectuée après un pompage d'au moins trois fois le volume en eau de l'ouvrage, comme le recommandent les procédures qualité, que sans effectuer le moindre pompage. De fait, la température mesurée sera soit représentative de l'eau de la nappe, soit représentative de l'équilibre de l'eau d'un puits avec la température ambiante : des écarts de cinq à dix degrés peuvent exister.

A contrario, les données disponibles dans la banque ADES ont été acquises dans le cadre d'un réseau de suivi de la qualité des eaux ou dans le cadre de la surveillance des captages d'eau potable. Dans le second cas, l'ouvrage est en exploitation ce qui offre une garantie de la représentativité de la mesure. Dans le premier cas, la charte du producteur de données inhérente à ADES garantit le bon respect des conditions de prélèvement (y compris les pompages préalables).

Ainsi, les données issues d'ADES ont été retenues pour déterminer la température des eaux souterraines. L'extraction effectuée à partir de la base Oracle a fourni 883 mesures de température, répartis sur 97 points de mesure localisés dans la zone d'étude (cf. carte des points de température placée en annexe 22).

Pour chacun des points d'eau, la géologie simplifiée et le bassin versant ont été définis de façon similaire à ce qui a été effectué pour les ouvrages disposant d'une mesure de débit.

Par ailleurs, comme la température d'une eau souterraine en nappe libre est fortement liée à la température moyenne annuelle de l'air, l'altitude des points d'eau entre en compte dans sa détermination. Ainsi, des classes d'altitude des ouvrages ont été définies de la façon suivante :

- Altitude \leq 200 mètres : Alti 1 ;
- 200 mètres < Altitude \leq 500 mètres : Alti 2 ;
- 500 mètres < Altitude \leq 1000 mètres : Alti 3 ;
- Altitude > 1000 mètres : Alti 4.

Une fois ces données réunies, des ensembles basés sur l'appartenance à un bassin versant et à une classe d'altitude ont été constitués. De même que pour les débits, la méthode des boîtes à moustaches de Tukey a été utilisée. Les données statistiques sont présentées dans l'illustration 42 et les représentations de Tukey sont placées en illustration 42.

Zone	Nb. d'observations	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile
Adour / Alti 1	47	12.150	13.100	14.450
Adour / Alti 2	161	11.900	13.000	13.900
Adour / Alti 3	170	8.400	9.000	10.175
Adour / Alti 4	38	6.750	7.450	8.000
Garonne / Alti 1	200	13.675	14.300	16.000
Garonne / Alti 2	164	11.700	12.600	14.000
Garonne / Alti 3	36	11.150	11.900	12.200
Lot / Alti 1	67	14.000	14.800	16.100

Illustration 42 - Répartition des températures en quartiles par zones de température

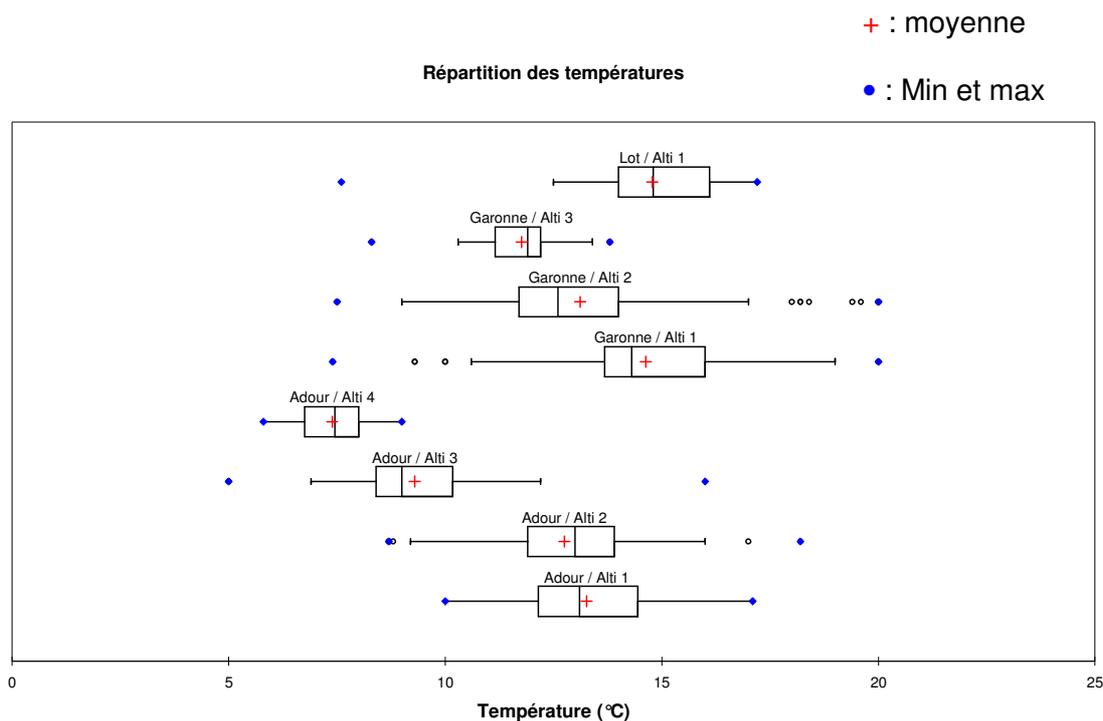


Illustration 43: Représentation des températures par zones de température ; méthode des « boîtes à moustaches »

Des valeurs atypiques sont identifiées pour les zones de la Garonne en classes d'altitude 2 (8 sur 164, soit 4.9%) et 1 (4 sur 200, soit 2%), ainsi que pour l'Adour en classe d'altitude 2 (3 sur 161, soit 1.9%). En se basant sur une distribution en loi normale des valeurs, les écarts attendus (cf. annexe 9) sont de 0.7%. De fait, les classes d'échantillons retenues présentent donc dans leur ensemble une assez bonne homogénéité.

Chaque cellule du maillage utilisée s'est donc vu attribuée une classe de température, basée sur l'appartenance à un bassin versant et en fonction de son altitude. Une carte de ces classes de température a été dressée : elle est placée en annexe 27.

Autres paramètres physico-chimiques

- **Sables Inframollassiques**

Aspect corrosif des eaux

Le caractère corrosif d'une eau peut être approché par l'Indice de Rynzar, calculé à partir des valeurs de pH et de pH de saturation (à la calcite) d'une eau :

$$I_R = 2 * pH_s - pH$$

Or il existe très peu de valeur d'indice de Ryznar des eaux des SIM dans la littérature. Une recherche des valeurs de pH et pHS a donc été effectuée dans la bibliographie et dans les bases de données disponibles (ADES, BSS). En réalité, très peu de valeurs de pHS ont été collectées. Les analyses d'eau présentant une analyse complète des majeurs ont donc été dépouillées, puis saisies dans el logiciel Diagrammes (D I A G R A M M E S : Logiciel d'hydrochimie multi langages en distribution libre - Roland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon) qui permet de calculer le l'indice de saturation à la calcite et donc le pHS.

30 valeurs d'Indice de Ryznar ont ainsi pu être calculées sur le domaine des SIM.

Pour chacun de ces points, le caractère corrosif des eaux a été représenté par un code couleur dans l'illustration de l'annexe 25. On constate qu'il existe une grande variabilité des Indice de Ryznar au sein de l'aquifère des SIM. Par ailleurs, la densité de points obtenue est beaucoup trop faible pour délimiter des zones de comportement homogène. L'utilisateur de l'outil d'aide à la décision pourra néanmoins se reporter à la carte des données ponctuelles pour évaluer le comportement agressif des eaux des SIM dans le secteur qui l'intéresse.

De manière plus générale, il est admis que la zone de forte minéralisation définie dans la thèse de L. André (juin 2002. Cf. paragraphe ci-dessous) est considérée comme défavorable d'un point de vue physico-chimique, dans la mesure où le taux de salinité des eaux peut se combiner à un caractère agressif et venir endommager les dispositifs de tubage et de pompage lors de l'exploitation d'un système géothermique. Cependant, ce constat doit être nuancé en fonction de l'intérêt à mettre en place d'un processus géothermique et du calcul de rendement de l'opération (bien que les coûts d'entretien puissent être plus importants de part les caractéristiques physico-chimiques des eaux, l'opération peut être rentable si l'apport de calories est important).

Autres paramètres physicochimiques

La thèse soutenue par L. André en juin 2002 sur la géochimie des SIM offre une décomposition de l'aquifère en fonction de ses teneurs en chlorures et en sulfates, éléments pouvant influencer sur la durée de vie d'un forage. Ces délimitations sont portées en annexe 26.

Comme cela est évoqué dans le paragraphe précédent, la zone de forte salinité présente sur une bande centrale de 40 km de large en moyenne selon une direction Nord-Ouest / Sud-Est, est considérée comme défavorable en terme de coût d'exploitation des opérations de géothermie.

- **Nappes alluviales**

Une recherche bibliographique a été menée sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux des nappes alluviales. En effet, il existe assez peu de valeurs de pH de saturation ou d'indices de Rynzar dans les banques de données telles que ADES ou BSS-ES. Les analyses des ions majeurs sont nombreuses mais le travail de mise en forme et de traitement des données n'était pas compatible avec le programme d'étude.

L'analyse bibliographique montre les résultats suivants :

- sur l'ensemble des départements de Midi-Pyrénées, les eaux des nappes alluviales présentent une minéralisation moyenne à faible avec des résistivités de l'ordre de 1000 à 3000 Ohm.cm selon les niveaux de terrasses et les cours d'eau.
- Les eaux sont toujours proches de la neutralité avec des pH variant de 6 à 7,5.
- Les eaux sont peu à moyennement dures, avec des TH variant de 15 à 25 °F dans les alluvions du Lot, dans la vallée de l'Hers (Haute-Garonne) et pouvant atteindre 30 °F dans les alluvions de l'Ariège, la basse terrasse en rive gauche et la basse plaine de la Garonne.
- Le degré de salinité reste assez faible sur l'ensemble du domaine alluvial avec des teneurs souvent inférieures à 0,7 g/l.
- Les quelques références bibliographiques faites sur les concentrations en Chlorures indiquent des concentrations globalement faibles, de l'ordre de 10 à 40 mg/l, mais pouvant localement être plus importantes, comme dans le secteur de Grenade (31) où des teneurs à 120 mg/l ont pu être mesurées. Ces pics de concentrations sont probablement liés à des pollutions anthropiques et devraient donc rester très localisées.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des nappes alluviales semblent globalement compatibles avec la réalisation d'opérations de géothermie, et ne semble pas discriminantes ou pénalisante en termes d'usure du matériel de pompage. Ces eaux sont globalement neutres vis-à-vis des métaux et leur pouvoir incrustant (dépôt de calcaire) peu important. Mis à part le facteur de température, la physico-chimie des eaux ne constitue pas, a priori, un critère de faisabilité des opérations de géothermie par PAC. Elle ne sera donc pas prise en compte dans l'analyse multicritères.

7.3. CHOIX DES CRITERES PERMETTANT DE DEFINIR LE POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES NAPPES

Les paramètres utilisés pour évaluer les potentialités géothermiques des nappes alluviales et des SIM sont reprises dans l'illustration 44 ci-après. Ces critères sont quasiment identiques pour les deux types d'aquifères, excepté pour la notion de productivité de l'aquifère qui est approché par la transmissivité pour les SIM et par des zones de débits d'exploitation pour les nappes alluviales.

Chaque paramètre est traduit en termes de critères intervenant dans le potentiel géothermique des nappes. Ces critères peuvent varier légèrement entre les aquifères de surface, où seule la géothermie à très basse énergie sera utilisée et les SIM profonds où le procédé utilisé pourra varier en fonction de la température.

SIM

	FAISABILITE	PRODUCTIVITE	COUT D'ACCES (Investissement)	COUT DE FONCTIONNEMENT	RENDEMENT	TYPE DE PROCEDE DE GTH
1) EXTENSION de l'aquifère						
2) EPAISSEUR AQUIFERE (= Prof Toit - Prof Mur)						
3) Prof. Niveau PIEZOMETRIQUE						
4) TRANSMISSIVITE						
5) PHYSICO-CHIMIE						
6 TEMPERATURE						

NAPPES ALLUVIALES

	FAISABILITE	PRODUCTIVITE	COUT D'ACCES (Investissement)	COUT DE FONCTIONNEMENT	COEFFICIENT DE PERFORMANCE DE LA PAC
1) EXTENSION de l'aquifère					
2) EPAISSEUR AQUIFERE (= Prof Toit - Prof Mur)					
3) Prof. Niveau PIEZOMETRIQUE					
4) DEBITS					
5) PHYSICO-CHIMIE					
6 TEMPERATURE					

Illustration 44 – Tableau de syntyèse des paramètres et critères utilisés pour la définition du potentiel géothermique des aquifères étudiés

L'intérêt d'une opération de géothermie peut être évalué par l'intermédiaire trois grandeurs principales :

- LA RECETTE CALORIFIQUE, c'est-à-dire le couplage du débit disponible (traduisant la productivité de l'aquifère) et de la Température disponible,
- LES COUTS D'INVESTISSEMENT : il varie principalement en fonction du nombre de mètres linéaires de foration (déterminé par la profondeur du toit de l'aquifère), de la lithologie (dureté) des formations traversées et de la présence

d'artésianisme. La physico-chimie de l'eau et notamment son caractère agressif ou incrustant peut jouer dans une moindre mesure, mais ce paramètre n'est pas suffisamment connu pour être pris en compte.

- LES COÛTS DE FONCTIONNEMENT : ils dépendent essentiellement de la physico-chimie de l'eau.

Une fois les paramètres de l'analyse multicritères identifiés et les grandeurs à caractériser fixées, l'estimation du potentiel géothermique peut être réalisé pour les deux types d'aquifères.

7.4. ESTIMATION DES POTENTIALITES GEOTHERMIQUES DES NAPPES ALLUVIALES ET L'AQUIFERE DES SABLES INFRAMOLASSIQUES : ANALYSE MULTICRITERES

L'importance de certains paramètres varie en fonction du type de nappe en présence. Ainsi, des poids différents vont être affectés aux paramètres de l'analyse multicritères pour les nappes alluviales et les SIM.

Il est également important de rappeler qu'hormis la géométrie des aquifères, l'ensemble des données collectées ci-après sont représentatives d'une époque donnée et susceptibles d'évoluer dans le temps.

7.4.1. Nappes alluviales

Les aquifères alluviaux sont très peu profonds sur toute leur extension, car par définition, il s'agit de nappes développées dans des sédiments de cours d'eau actuels et donc superficiels. Par ailleurs, les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont stables et relativement inertes dans le cadre d'un usage géothermique : eaux neutres, peu minéralisées, en équilibre vis-à-vis de la Calcite et des autres minéraux.

Aussi, la géométrie de l'aquifère et la composition physico-chimique des eaux vont très peu influencer les coûts d'investissement et de fonctionnement des pompes à chaleur.

Dans le cas des nappes alluviales, la principale contrainte n'est pas tant financière, dans le sens d'un coût d'investissement initial puis d'entretien que technique. En effet, elle dépend davantage, de la rentabilité de l'opération, c'est-à-dire de l'apport calorifique et donc de l'économie d'énergie au regard des coûts d'investissement. C'est donc la notion de RECETTE CALORIFIQUE qui va déterminer le potentiel géothermique de cette aquifère. Or, cette grandeur est caractérisée par les deux paramètres : Température et débit.

Température

La température des eaux des nappes alluviales de la région a été calculée pour chaque maille de l'outil d'aide à la décision (cf. annexe 27a).

Des seuils de classes de température ont été choisis pour rendre compte de la compatibilité avec un usage géothermique. Les classes suivantes ont été créées :

- Température $< 8^{\circ}\text{C}$: en-dessous de cette valeur, on estime que le rendement d'un PAC est insuffisant. La Géothermie n'a pas d'intérêt.
- $8 < T^{\circ}\text{C} < 10^{\circ}\text{C}$: le rendement de la PAC ne sera pas optimal mais l'utilisation de la géothermie peut être envisagée.
- $10 < T^{\circ}\text{C} < 12^{\circ}\text{C}$: La rentabilité de la PAC est un peu meilleure et devient intéressante.
- $T^{\circ}\text{C} > 12^{\circ}\text{C}$: le rendement de la PAC est optimal. La géothermie est une solution très intéressante.

Une nouvelle carte de température des nappes alluviales, disponible en annexe 27b, a été réalisée à partir de ces classes.

Débits d'exploitation

Si la valeur de débit est une notion importante dans le calcul de rentabilité d'une opération de géothermie à très basse énergie, elle n'est pas suffisante. Elle doit impérativement être combinée à une valeur de débit qui permettra de calculer la recette calorifique de l'opération. En effet, une eau chaude mais fournie avec un très faible débit ne permettra pas forcément de générer les calories suffisantes au chauffage d'un bâtiment.

Une carte des zones de débits exploitables a été réalisée (cf. annexe 20). On constate que l'écart type de valeurs peut être important et le nombre de valeurs collectées sur chaque zone peut varier fortement (de 3 à 92). Ces phénomènes impliquent que la médiane peut fortement différer de la moyenne. Par ailleurs, dans le cadre de cette étude, on cherche davantage à garantir un débit minimal. Il a donc été décidé que les seuils de classes de débits et l'affectation de chaque zone à une classe débit tiendront compte de la valeur du 1^{er} quartile (25 % de chances d'obtenir un débit en dessous de cette valeur).

Les classes de débits choisies sont les suivantes :

- $Q < 2 \text{ m}^3/\text{h}$: en-dessous de cette valeur, la mise en place d'une PAC est impossible ou doit se limiter à des surfaces très réduites ($< 30 \text{ m}^2$),

- $2 < Q < 10$ m³/h : dans cette gamme de débit, on peut espérer chauffer des bâtiments de 80 à 150 m² sans trop de difficultés, dans la mesure où les conditions de température des eaux sont favorables. Les PAC sont réservées à des habitations individuelles.
- $10 < Q < 20$ m³/h : cette gamme de débit permet d'envisager le chauffage d'habitations individuelles (et/ou le refroidissement) de surface encore plus importantes, voire même de petits bâtiments collectifs.
- $Q > 20$ m³/h : dans des conditions de températures favorables, ces valeurs de débits permettent d'envisager l'équipement de bâtiments collectifs.

A noter que certaines zones sont totalement dépourvues de données ponctuelles de débit. Dans ce cas, une classe de valeur a été affectée en fonction des gammes de débits données dans la littérature et des gammes de débits fournies dans l'étude de J-C Soulé. C'est le cas pour la basse plaine, pallier supérieur de la Garonne Amont située entre Cazères, St Gaudens et Montréjeau, les alluvions du Lot, le Fz de l'Agout et du Dadou et les karsts du Lot.

Il convient de rappeler que tout projet d'installation de PAC doit être précédé d'une étude faisabilité qui permettrait de fixer précisément le débit d'exploitation. Cette étude prend encore plus d'importance dans les secteurs où les données de débits sont absentes ou peu nombreuses.

La carte des classes de débits de la nappe alluviale est présentée en annexe 28.

Le tableau de l'illustration 45 ci-après indique le classement des zones géologiques en fonction du débit d'exploitation attendu.

Zone	Description	Commentaires	Nb de points	Nb de valeurs	1 ^{er} quartile	Médiane	3 ^e quartile	Classe affectée
1	Fy du Tarn, de l'Agout et de la Dadou		11	10	4,5	8,5	16,6	2
2	Fz du Tarn jusqu'à sa confluence avec l'Agout et la Dadou		6	6	6,1	10,0	21,3	2
3	Fy: basses terrasses de la Garonne développées en rive gauche (+ quelques éléments en rive droite), basses terrasses de l'Aveyron et de la rive droite du Tarn.		98	92	4,5	13,1	30,0	2
4	Fx de la Garonne, développées en rive gauche. Les hautes terrasses de la Garonne (Fw) sont également rattachées à cet ensemble (4 mailles)		21	18	0,8	4,0	16,5	1
5	Fz: basse plaine de la Garonne et du Tarn après sa confluence avec l'Aveyron		62	58	21,3	38,9	67,5	4
6	Fz du Tarn et de l'Aveyron jusqu'à leur confluence		40	38	9,3	20,0	30,0	2
7	Fz de la plaine de l'Ariège		46	43	9,8	22,0	40,0	3
8	Fzz: alluvions actuelles de la Garonne		16	16	28,4	38,0	45,0	4
9	Fy: basses terrasses de la Garonne et du Tarn situées entre les deux cours d'eau.		27	27	20,0	30,0	40,0	4
10	Fy: basse plaine pallier supérieur de la Garonne Amont situées entre Cazères, Saint-Gaudens et Montréjeau	Echantillon non représentatif. Etude de 1981 de J-C Soulé attribue à cette zone un débit allant de 20 à 100 m3/h.	-	-	-	-	-	4
11	Alluvions des affluents secondaires de la Garonne, de l'Ariège et de l'Aveyron (dont Save, Neste, Salat, Hers vif, Hers mort, Saune, Girou et Lère), alluvions de la Garonne à l'amont de Montréjeau et de l'Ariège à l'amont de Varilhes		34	34	3,5	14,0	33,8	2
12	Fu, Fv et Fw de l'Adour		10	10	18,5	28,0	30,0	3
13	Fx de l'Adour		15	15	14,5	45,0	47,5	3
14	Fy de l'Adour		79	74	25,0	60,0	75,0	4
15	Fz de l'Adour		25	25	12,0	25,0	50,0	3
16	Adour amont (affluent inclus). Zone de faible productivité		8	8	4,8	13,0	27,5	2
17	Fz du Lot	A dire d'expert	-	-	-	-	-	2
18	Hautes et moyennes terrasses du Lot (Fu, Fv, Fw et Fx)	A dire d'expert	-	-	-	-	-	3
19	Fy de la plaine de l'Ariège		29	22	6,6	14,3	20,4	2
20	Fz de l'Agout et de la Dadou	A dire d'expert (d'après l'IRH et donnée terrain)	-	-	-	-	-	2
21	Formations jurassiques du Lot: zones à karstification probable.	Echantillon non représentatif. La présence de karsts nécessite la réalisation d'une étude préalable à la création de forages. Classe 4 à dire d'expert mais variabilité des débits attendus peut-être importante.	-	-	-	-	-	Variabilité très forte : étude préalable indispensable
22	Zones d'éboulis, de colluvions, d'alluvions solifluées ou de molasses. Les mailles "Crétacé" (16 mailles) en font aussi partie car il s'agit des flyschs de l'Albo-Cénomaniens et des marnes du Maestrichtien	Echantillon trop faible pour être représentatif. Zones de faible perméabilité auxquelles J-C Soulé attribuait "localement et exceptionnellement" en 1981 des débits de quelques m3/h.	4	3	0,9	1,0	1,1	1

Classes de débit d'exploitation attendu

0 à 2 m3/h	1
2 à 10 m3/h	2
10 à 20 m3/h	3
> 20 m3/h	4

Illustration 45 – Affectation des classes de débits aux différents zones géologiques des nappes alluviales

Analyse multicritères

Le croisement des deux paramètres Température et débit permet d'aboutir à une note de potentialité de l'aquifère au droit de chaque maille de l'outil d'aide à la décision.

Ces résultats sont présentés dans le tableau de l'illustration 46.

		Température			
		$\leq 8^{\circ}\text{C}$	$8 < T \leq 10$	$10 < T \leq 12$	$> 12^{\circ}\text{C}$
Débit (1er quartile)	$\leq 2 \text{ m}^3/\text{h}$	1			
	$2 < Q \leq 10$	1	2	3	
	$10 < Q \leq 20$		3	4	
	$> 20 \text{ m}^3/\text{h}$		3	4	

On définit 4 classes de potentialité :

Note 1 : Mise en place d'une PAC très difficile, y compris pour des maisons individuelles (surface chauffée $< 30 \text{ m}^2$).

Note 2 : Mise en place d'une PAC possible pour des habitations individuelles (Surface de 80 à 150 m^2 en fonction du débit), mais POC à déterminer.

Note 3 : Très favorable à l'installation d'un PAC pour habitation individuelle et éventuellement pour petits collectifs.

Note 4 : Très favorable à l'installation d'une PAC pour tous types de bâtiments.

La zone A correspond à la partie amont de l'Adour ($z > 1000 \text{ m NGF}$), à Fx et Fw de la Garonne et du Lot,

La zone B correspond à la partie amont de l'Adour ($500 < z < 1000 \text{ m NGF}$)

Illustration 46 – Grille d'évaluation de la note de potentialité géothermique des nappes alluviales de Midi-Pyrénées

Résultats

La carte des potentialités géothermiques des nappes alluviales de la région est présentée en annexe 29.

On constate que l'ensemble des formations de basses, plaines et alluvions récentes, de la Garonne, du Tarn, de l'Ariège et de l'Adour sont classées en zones « très favorables ». Les basses terrasses de la Garonne de l'Ariège et les alluvions du Tarn mont et de l'Aveyron sont quant à elles classées en zones « Favorable ». Les secteurs « moyennement » favorables sont très restreints et se limitent aux alluvions dans le secteur des petites Pyrénées, à l'extrême amont des cours d'eau. Les secteurs les moins favorables à la géothermie se situent au niveau de la moyenne terrasse de la Garonne et à la limite entre les alluvions et les formations molassiques.

Il est néanmoins important de rappeler que cette classification est établie à partir de moyennes, et sur des mailles de 500 m de côté. Elle ne permet donc pas de s'affranchir d'une étude de faisabilité approfondie.

La répartition des notes de potentialités (ou de recette calorifique) des nappes alluviales dans la région et dans les sept départements étudiés (l'Aveyron ne possédant pas de nappes alluviales) est présentée dans les illustrations 47, 48, et 49 ci-après.

On constate qu'un tiers du territoire régional présente des potentialités géothermiques importantes à très importantes pour l'exploitation des nappes alluviales. En réalité, cela implique que plus de 85 % de la surface des nappes alluviales de la région ont de bonnes potentialités, ce qui paraît encourageant pour le développement de l'énergie géothermique avec PAC.

La Haute-Garonne et le Tarn-et-Garonne sont les départements les plus couverts par les nappes alluviales. Ces départements présentent également une part importante (23 à 25 %) de surfaces à bonnes potentialités par rapport à la superficie totale des départements.

Néanmoins, le département de la Haute-Garonne est celui qui présente la plus forte surface à faible potentiel géothermique, avec 21 % de la surface des nappes alluviales. Cela est lié à la présence des nappes des moyennes terrasses de la Garonne, pénalisées par les faibles débits d'exploitation potentiels.

Le département des Haute-Pyrénées possèdent la plus forte proportion de surface à potentialités très importante (72 %) au sein des nappes alluviales. Cela traduit la bonne productivité ainsi que l'importante épaisseur des alluvions de l'Adour.

NAPPES ALLUVIALES

Note Potentialités	Région	9	31	32	46	65	81	82
FAIBLE	3%	0%	6%	0%	0%	1%	0%	2%
MOYENNE	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
IMPORTANTE	12%	5%	13%	1%	1%	2%	8%	11%
TRES IMPORTANTE	11%	2%	10%	2%	1%	10%	0%	14%
Aquifère non étudié ou absent	74%	93%	71%	96%	99%	86%	92%	73%

Note Potentialités	Région	9	31	32	46	65	81	82
FAIBLE	13%	3%	21%	10%	2%	11%	4%	8%
MOYENNE	1%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
IMPORTANTE	46%	64%	45%	29%	48%	13%	96%	41%
TRES IMPORTANTE	40%	33%	34%	61%	50%	72%	0%	51%

Illustration 47 – Tableau de répartition des notes de potentialités des nappes alluviales

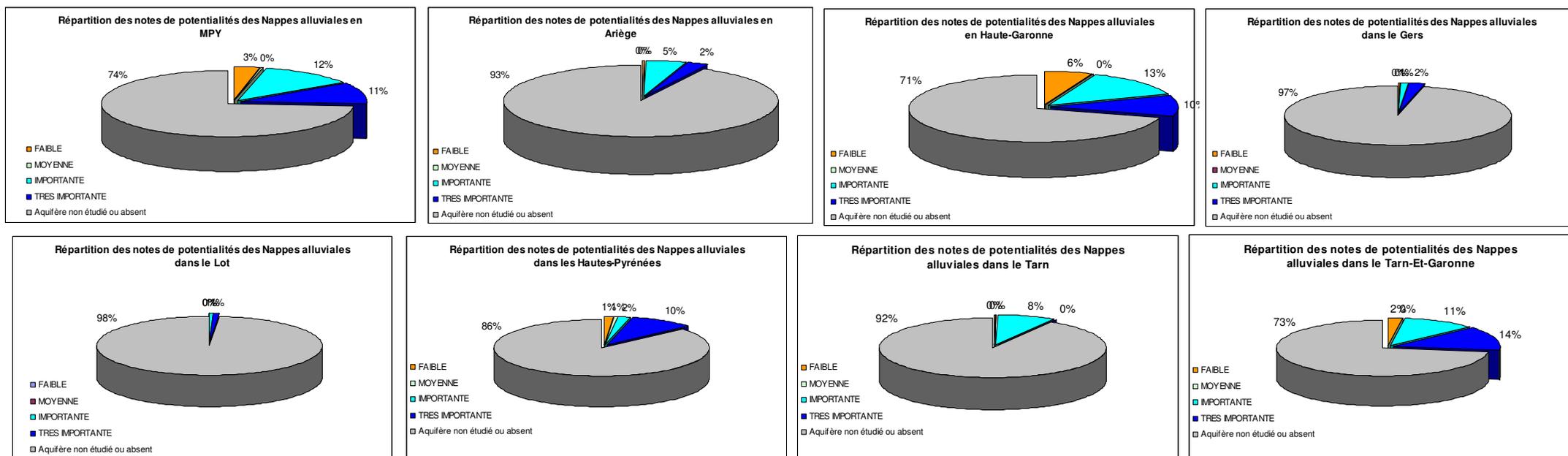


Illustration 48 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des nappes alluviales sur la totalité de la région et de 7 départements

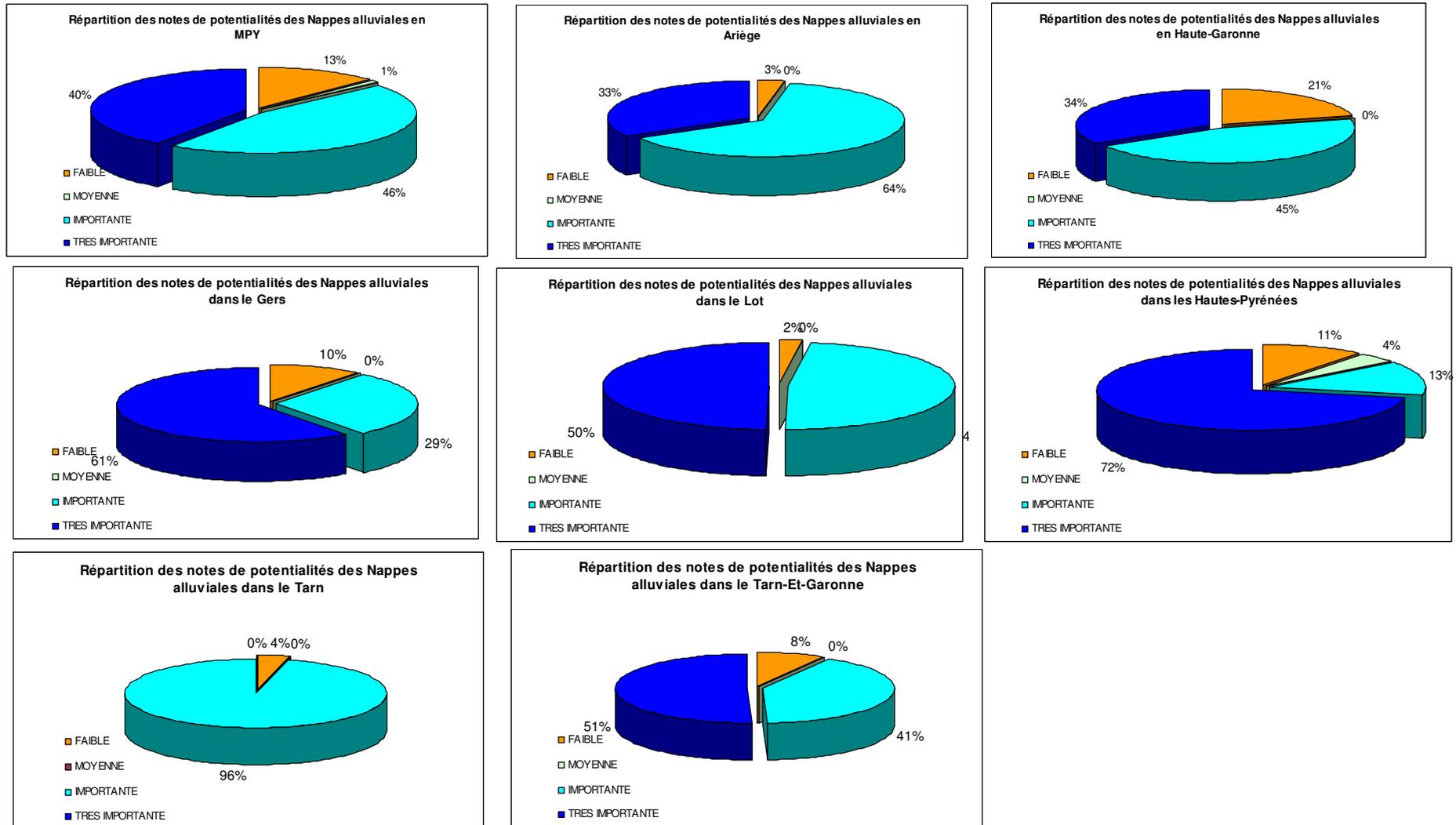


Illustration 49 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des nappes alluviales au sein **des mailles actives** de la région et de 7 départements

7.4.2. Sables Infra-molassiques

Contrairement aux aquifères alluviaux, la profondeur du toit des Sables Infra-Molassiques varie fortement dans la région et peut atteindre jusqu'à 2500 m dans le secteur de Carbonne (Haute-Garonne). La nappe peut devenir également artésienne sur des secteurs importants. Ces caractéristiques ont un impact important sur le coût d'accès à la géothermie.

Par ailleurs, dans certaines zones de l'aquifère, les eaux peuvent présenter des salinités importantes, ainsi qu'un comportement corrosif qui peuvent augmenter considérablement les coûts d'exploitation et d'entretien d'une installation géothermique.

Les notions de COÛT D'INVESTISSEMENT ET DE FONCTIONNEMENT restent donc importantes pour les SIM et seront évaluées. Cependant, la RECETTE CALORIFIQUE reste le critère déterminant, qui pourra être modulé en fonction des objectifs poursuivis et notamment :

- de la taille du réseau de chaleur projeté,
- des besoins énergétiques,
- de la population desservie etc.

Les problèmes liés aux coûts pourront prendre plus ou moins d'importance en fonction des enjeux locaux, ce qui reste à l'entière appréciation de l'utilisateur de l'outil d'aide à la décision. Dans ce contexte, chaque projet devra être étudié comme un cas particulier.

EVALUATION DE LA RECETTE CALORIFIQUE

Comme pour les nappes alluviales, la recette calorifique est appréhendée à partir du croisement de la productivité de l'aquifère et de la température de l'eau. Cependant, pour les SIM, il existait trop peu de données sur les débits d'exploitation pour pouvoir travailler sur ce paramètre. Par contre, le Modèle Hydrodynamique Sud Aquitain a permis d'avoir un maillage des transmissivité. Ce paramètre, lié à la notion de productivité sera donc utilisé pour rendre compte de la productivité de l'aquifère.

- Transmissivité

Les gammes de transmissivité varient de 0 à $7,5 \cdot 10^{-3}$. Les classes suivantes ont donc été réalisées :

- $\leq 10^{-4}$ m²/s : aquifère très peu productif
- $10^{-4} < T < 6 \cdot 10^{-4}$: aquifère peu productif
- $6 \cdot 10^{-4} < T < 2 \cdot 10^{-3}$: aquifère productif
- $T > 2 \cdot 10^{-3}$: aquifère très productif

Il est important de signaler que ces valeurs de transmissivité sont des valeurs de calage d'un modèle hydrodynamique réalisé à partir de mailles de 1 km de côté. Il s'agit donc d'ordres de grandeurs et non de valeurs établies à partir d'essai de nappe par pompage. Il convient de les utiliser avec toutes les précautions nécessaires.

- Température

Comme indiqué dans le paragraphe 7.2.5., la température des eaux des SIM a été calculée à partir de la profondeur de l'aquifère et du gradient géothermique établi dans une étude de 1977. Ces températures calculées sont représentées par tranche de 10 °C en annexe 24.

Les données ponctuelles de température, permettent, à quelques exceptions près, de valider ces calculs.

A partir de ces résultats, des classes de température ont été créées pour rendre compte de la potentialité géothermique de l'aquifère :

- $T \leq 20$ °C : Une opération de géothermie est réalisable, mais avec mise en place d'un système de PAC. La rentabilité de l'opération (ratios entre les coûts d'investissement et le gain d'énergie) n'est pas assurée.
- $20 < T \leq 40$ °C : La mise en place d'un échangeur direct est possible, mais le coefficient de performance du système (rapport entre la puissance utile et la puissance consommée) varie de 4 à 20. La rentabilité de l'opération doit être étudiée.
- $40 < T \leq 60$ °C : Echangeur direct avec coefficient de performance supérieure à 20. Température favorable. Forte probabilité d'avoir une bonne rentabilité de l'opération.
- $T > 60$ °C : Echangeur direct avec de très bon coefficient de performance. Température très favorable. Forte probabilité d'avoir une très bonne rentabilité de l'opération.

- Analyse multicritères :

La combinaison des deux critères de température et de débit permet d'aboutir à une note d'importance de la RECETTE CALORIFIQUE. La méthode d'évaluation est synthétisée dans l'illustration 50 ci-après.

			Température			
			$\leq 20^\circ\text{C}$	$20 < T \leq 40$	$40 < T \leq 60$	$> 60^\circ\text{C}$
Transmissivité	$\leq 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$	TRES PEU PRODUCTIF	1			
	$0,0001 < T \leq 0,0006$	PEU PRODUCTIF	2		3	
	$0,0006 < T \leq 0,002$	PRODUCTIF	2	3		4
	$> 0,002 \text{ m}^2/\text{s}$	TRES PRODUCTIF				

Légende des notes	Recette Calorifique
1	Faible
2	Moyenne
3	Importante
4	Très importante

Illustration 50 – Analyse multicritères permettant d'évaluer la RECETTE CALORIFIQUE des opérations de géothermie réalisées sur l'aquifère des SIM

Cette méthodologie a été appliquée à l'ensemble des mailles de l'outil d'aide à la décision, et a permis d'aboutir à un document cartographie (annexe 33a) montrant l'importance de la recette calorifique attendue pour les SIM.

La notion de recette calorifique doit être nuancée par les autres notions de coût d'investissement et d'exploitation.

Coût d'investissement

Le coût d'investissement est essentiellement conditionné par le coût de forage, qui peut varier de plusieurs ordres de grandeurs en fonction de la profondeur, de la nature des matériaux traversés, et de la présence d'artésianisme. Il est impossible de donner un coût moyen par mètre linéaire de forage, car l'augmentation du prix n'est pas linéaire en fonction de la profondeur. Il serait donc dangereux et trompeur d'afficher des prix, même sous forme de fourchettes pour des forages visant à capter les SIM.

On peut cependant définir des critères venant influencer l'ampleur du coût d'investissement. Il s'agit de la profondeur et de la présence d'artésianisme.

La carte de profondeur du toit des SIM a été réalisée par soustraction de la cote topographique avec la cote du toit de l'aquifère. Elle est disponible en annexe 31.

La carte des zones potentiellement artésiennes a été réalisée par soustraction de la cote piézométrique de la nappe des SIM avec la cote topographique. Elle est disponible en annexe 33c.

Le tableau de l'illustration 51 ci-après donne une idée des impacts financiers à prévoir en fonction de ces deux paramètres :

Profondeur du toit de l'aquifère		(1) Artésien	(2) Non artésien
1	$0 < P \leq 200$ m	1	
2	$200 < P \leq 500$ m	2	1
3	$500 < P \leq 1000$ m	3	2
4	> 1000	3	3

Légende des notes

1	Coût investissement modéré
2	Coût investissement important
3	Coût investissement très important

Illustration 51 – Analyse multicritères permettant d'évaluer l'importance des coûts d'investissement (foration) pour une opération de géothermie exploitant les SIM

Il convient de rappeler que la notion de coût d'investissement doit être mise en perspective par le calcul de rentabilité et la durée d'amortissement de l'opération. Qui doivent être effectuée dans le cadre d'une étude de faisabilité technico-économique.

Coût de fonctionnement

Pour les SIM, la variation des coûts de fonctionnement est essentiellement conditionnée par le faciès physico-chimique des eaux. En effet, des études ont montré que certains secteurs des SIM présentaient des eaux très chargées en sels (Chlorures et Sulfates) et agressives par rapport aux métaux (cf. Indice de Rynzar). Ces deux paramètres étant bien corrélés, seul le critère de salinité peut être retenu pour l'augmentation du coût de fonctionnement des ouvrages.

Les recherches bibliographiques menées sur les sites géothermiques en exploitation sur les SIM, ont d'ailleurs montré des problèmes de corrosion des tubages et des pompes, notamment sur le site de Blagnac.

Il est très difficile de connaître a priori la composition chimique des eaux captées dans les SIM. Nous pouvons seulement indiquer que la zone de forte minéralisation cartographiée en annexe 25 et contribue à augmenter de manière significative les coûts de fonctionnement de l'unité de pompage.

Salinité	Surcoût de fonctionnement
Cl- < 35 mg/l et SO42- < 70 mg/l	1
Cl- > 35 mg/l et SO42- > 70 mg/l	2

Légende des notes

1	Modéré
2	Important à très important

Illustration 52 – Influence de la salinité (et de la corrossivité) des eaux des SIM sur le surcoût de fonctionnement

Ce critère ne constitue pas en lui-même un obstacle à la réalisation d'opération de géothermie, mais il constitue une information intéressante pour évaluer les coûts de fonctionnement futurs.

Représentation globale du potentiel géothermique des Sables Infra-molassiques

Les cartes de l'annexe 33 permettent de représenter l'ensemble de ces résultats et d'évaluer ainsi le potentiel géothermique de la nappe à l'endroit étudié.

Le potentiel géothermique est conditionné principalement par l'importance de la recette calorifique, et peut ensuite être nuancé par le coût d'investissement et la présence d'eau fortement minéralisées. La première carte indique également les valeurs ponctuelles de débits d'exploitation, ce qui permet à l'utilisateur de se faire une idée des gammes de débit attendues. Par ailleurs, le type de procédé de géothermie (PAC ou échangeur direct), induit par la température de l'eau, sont représentés par des motifs. La seconde carte permet de rendre compte de l'importance des coûts d'investissement.

En fonction des finalités de son projet, l'utilisateur prendra en compte une partie ou l'ensemble des critères présentés.

Résultats

On constate que les zones de forte recette calorifique sont situées au sud de Muret, dans le secteur de Carbonne et Cazères et dans le nord de l'Ariège ainsi que dans le nord de la Haute-Garonne, y compris sur Toulouse et ses environs. Par contre, ce dernier secteur comprend des eaux fortement minéralisée qui peuvent augmenter les coûts de fonctionnement.

Une zone très favorable est également identifiée à l'ouest du Gers et au sud-est d'Auch. Plus globalement, toute la partie nord des SIM présente de bonnes potentialités avec une nuance tout de même pour une bande située sur le long de limite nord des SIM, où les faibles températures des eaux impliquent la mise en place d'une PAC, dont le COP est moins important.

La bande située au sud et comprenant la ville de Tarbes est beaucoup moins favorable (Température plus froide et transmissivité très faible).

La répartition des notes de potentialités dans la région et dans les sept départements étudiés (l'Aveyron n'étant pas couverte par des aquifères alluviaux et par les SIM) est disponible dans les illustrations 53, 54 et 55 ci-après.

On constate que plus de la moitié de la région est couverte par les SIM, dont 75 % présentent de bonnes à très bonnes potentialités géothermiques.

Au niveau départemental, la plus grande couverture des SIM se retrouve dans le Gers, puis dans la Haute-Garonne avec 85 à 91 % de surface à bonnes potentialités géothermiques. Pour la Haute-Garonne, ces données sont à tempérer par la présence d'une forte minéralisation des eaux, pouvant induire un surcoût de fonctionnement des installations.

Les Hautes-Pyrénées, avec 64 % de la surface des SIM à faible potentiel et l'Ariège, avec 32 %, sont les départements où l'aquifère semble le moins intéressant sur une bonne partie de son extension.

Note Potentialités ou RC	Région	9	31	32	65
FAIBLE	9%	4%	7%	3%	18%
MOYENNE	2%	0%	0%	4%	2%
IMPORTANTE	32%	3%	21%	60%	6%
TRES IMPORTANTE	13%	4%	21%	11%	2%
Aquifère non étudié ou absent	44%	89%	51%	23%	71%

Note Potentialités	Région	9	31	32	65
FAIBLE	17%	32%	15%	4%	63%
MOYENNE	3%	1%	0%	5%	7%
IMPORTANTE	57%	27%	43%	78%	22%
TRES IMPORTANTE	23%	40%	42%	14%	7%

Illustration 53 – Tableau de la répartition des notes de potentialités des SIM sur la région et 5 départements

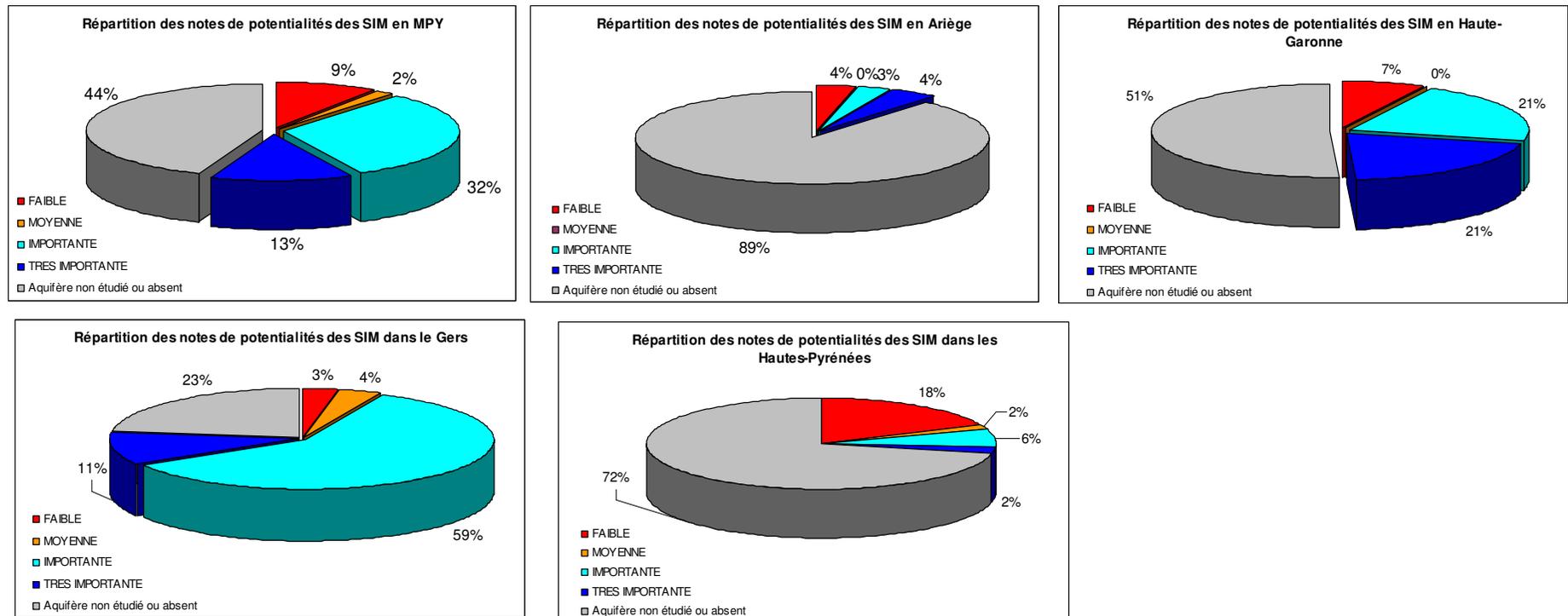


Illustration 54 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des SIM dans la région et les départements de Midi-Pyrénées sur la totalité du territoire

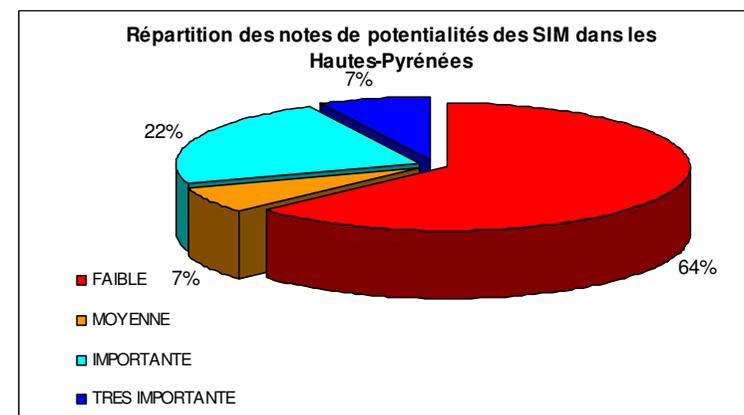
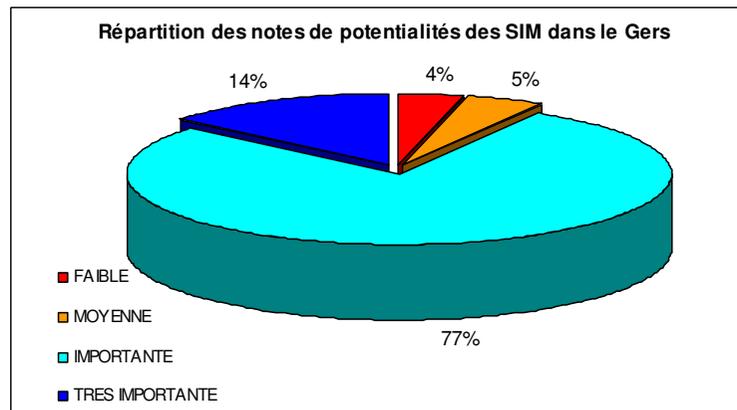
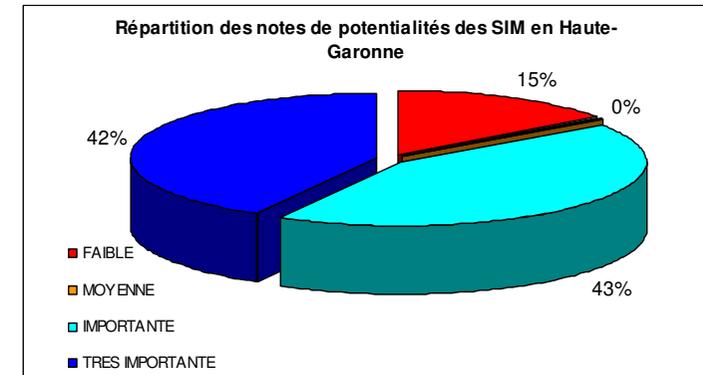
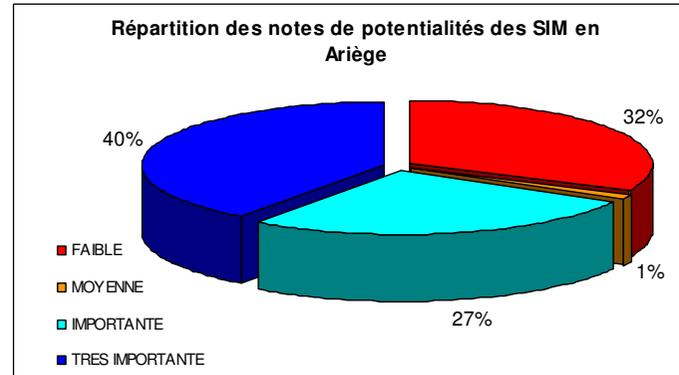
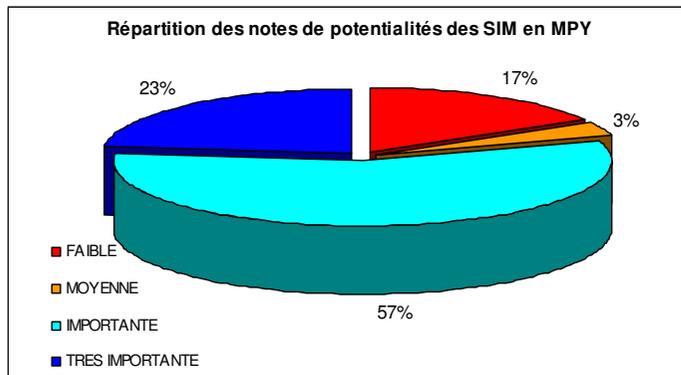


Illustration 55 – Graphiques de répartition des notes de potentialités des SIM dans la région et dans 5 départements dans **les mailles actives de l'aquifère**

8. Principes et fonctionnement de l'outil d'aide à la décision

L'outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie de la région Midi-Pyrénées est conçu à l'aide d'un SIG développé sous ARCVIEW et lié à une base de données ACCESS (géodatabase). Le fichier est nommé « OUTIL_GEOTHERMIE.mxd ».

Il comprend trois volets distincts : l'évaluation de la potentialité géothermiques des aquifères alluviaux et des SIM, le recensement des opérations de géothermie existantes, et le recensement des sources et forages thermo-minéraux non exploités.

Un environnement de consultation convivial a été développé en Visual Basic sous Arcview afin de faciliter l'utilisation de l'outil, notamment pour les personnes peu familières d'Arcview.

8.1. PRINCIPES GENERAUX DE CONSULTATION DE L'OUTIL

Lors de l'ouverture du fichier « OUTIL_GEOTHERMIE.mxd », un menu général s'ouvre automatiquement et propose trois options :

- consulter les informations sur les opérations de géothermie existantes,
- consulter les informations sur les sources et forages d'eau chaude non exploités,
- Connaître le potentiel géothermique d'un aquifère.

Lorsque l'utilisateur fait son choix, il bascule sur d'autres menus détaillés dans les paragraphes ci-après.

Le principe de navigation de l'outil d'aide à la décision sont repris dans l'illustration 56.

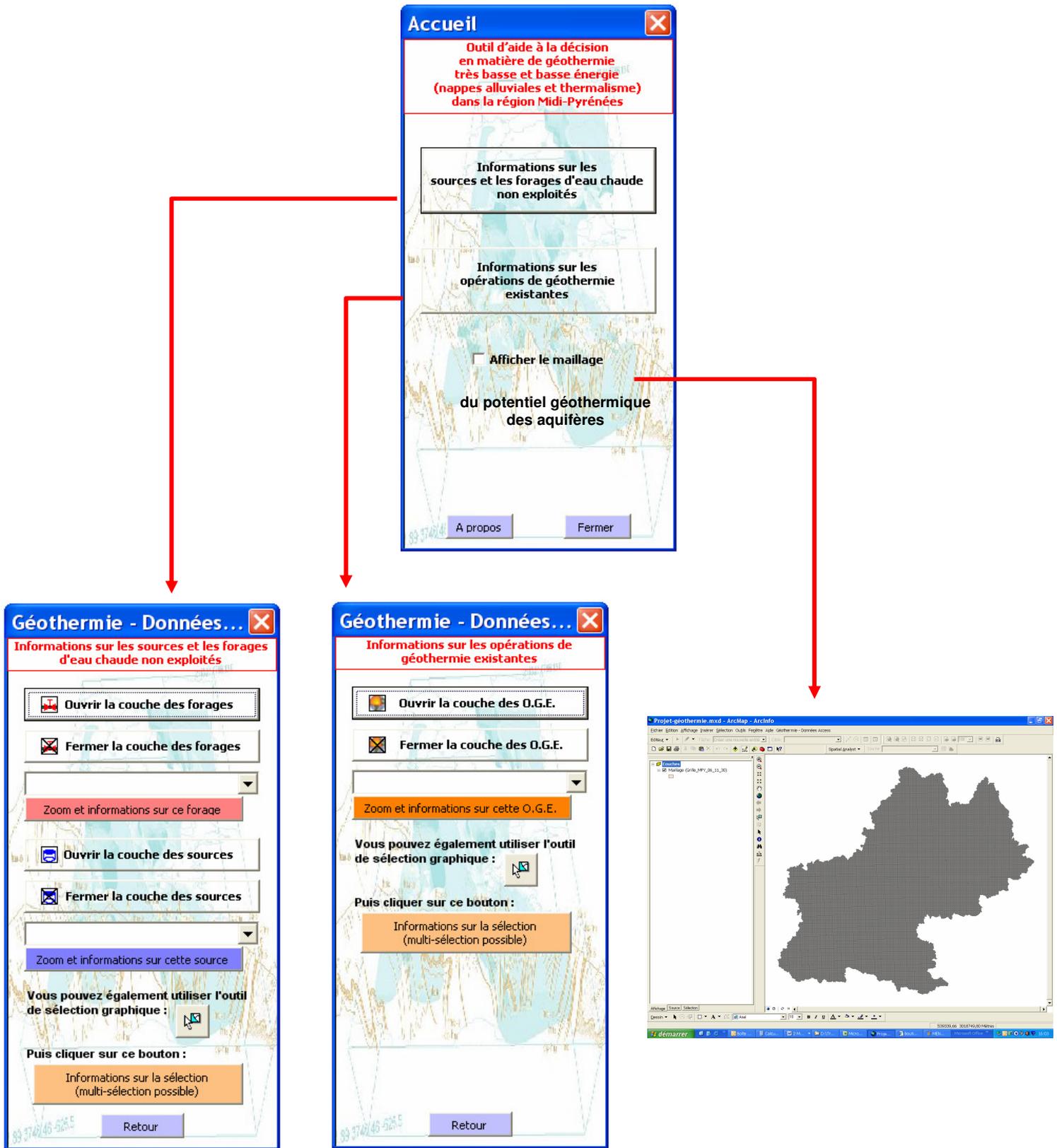


Illustration 56 – Menu principal de l'outil d'aide à la décision

8.2. POTENTIALITES GEOTHERMIQUES DES AQUIFERES DE MIDI-PYRENEES

La région est quadrillée par un maillage de 500 m de côté. Seules les cellules présentant au moins un des deux aquifères étudiés, c'est-à-dire les nappes alluviales ou les SIM, sont visibles et actives, c'est-à-dire liées à une source d'informations. Cela représente 39 281 mailles.

En effet, ces deux aquifères ont été identifiés par le Comité de Pilotage comme étant les plus intéressants pour une valorisation géothermique. La détermination du potentiel géothermique a donc été restreinte à ces deux formations.

Lorsque l'utilisateur clique sur une maille active avec l'outil « Information » d'Arcmap, une fenêtre s'ouvre et plusieurs champs sont visibles. L'illustration 57 montre l'exemple d'une maille située au droit d'une nappe alluviale et des SIM.

JD	Champ	Valeur
JD	XL2	511371,919931
JD	YL2	3160420,067794
JD	COTE_TOPO	151,67155
JA	CODE_SA1	342b
JA	NOM_SA1	GARONNE MOYENNE / MOYENNE TERRASSE
JA	LITHO_SA1	Alluvial
JA	CeL_active	oui
JA	Mur_Alluvions_cote	138,675
JA	Ep_Alluvions_cote	12,99655
JC	Piezo_Alluvions_cote	147,370790
JC	Epaisseur_eau_m	8,695790
JC	All_TEMPERATURE	> 12°C
JC	All_TEMP_Comment	COP optimal - La géothermie est très intéressante
JC	All_GAMME_DEBIT	=< 2 m³/h
JC	All_DEBIT_Comment	PAC impossible ou pour surface < 30 m²
JC	All_Potentiel_GTH	PAC difficile même pour habitations individuelles
JB	CODE_SA2	214
JB	NOM_SA2	Eocène Adour-Garonne
JB	LITHO_SA2	Niveau sableux à passées argileuses
JB	SIM_toit_cote	-953
JB	SIM_Prof_Toit	1104,672
JB	SIM_Mur_cote	-995
JD	SIM_Mur_foration	-995
JD	SIM_epaisseur_m	42
JD	SIM_Piezo_cote	118,647003
JD	SIM_Piez_Prof	33,02
JD	SIM_TEMPERATURE	40 < T =< 60°C
JD	SIM_TEMP_Comment	Echangeur direct, avec COP > 20. Forte probabilité de bonne rentabilité
JD	SIM_PRODUCTIVITE	T > 0,002 m³/s
JD	SIM_PROD_Comment	TRES PRODUCTIF
JD	SIM_artésien	non
JD	SIM_MINERALISATION	Cl- < 35 mg/l et SO42- < 70 mg/l
JD	SIM_Process	Direct
JD	SIM_Potentiel_GTH	Potentialité ou Recette calorifique TRES IMPORTANT
JD	SIM_Cout_INV	Coût TRES IMPORTANT
JD	SIM_Cout_FCT	Coût MODERE

Illustration 57 – Extrait des champs visibles lors de la sélection d'une maille de l'Outil

A noter que la table attributaire contient en réalité beaucoup plus de champs qui n'ont pas été rendus visibles pour l'utilisateur, car il s'agit de données de travail intermédiaires qui viendraient compliquer la consultation de l'outil.

L'utilisateur connaît ainsi les caractéristiques géométriques des aquifères dans la maille sélectionnée, ainsi que leur potentiel géothermique. Pour les mailles concernées par les SIM, il est également indiqué l'importance du coût d'investissement et de fonctionnement.

Il est important de rappeler que les données compilées dans le SIG sont issues de modèles hydrodynamiques, de la bibliographie, de données ponctuelles issues de la BSS ou de ADES. Aussi étant donné la précision du maillage, l'hétérogénéité spatiale des données et les multiples sources d'information, **la note de potentiel géothermique est uniquement destinée à orienter l'utilisateur. Elle ne peut en aucun cas remplacer une étude de faisabilité.** Par ailleurs, il convient de rappeler que les données de géométrie des aquifères sont spatialisées par mailles, alors que les valeurs de productivité (débits d'exploitation pour les nappes alluviales et transmissivité pour les SIM) ont été affectées à des zones.

8.3. SOURCE ET FORAGES D'EAU CHAUDE NON EXPLOITES

Les sources et forages d'eau chaude non exploités ont été recensés et des données issues de la bibliographie ou de visites de terrain ont été saisies dans la base de données associée à l'outil d'aide à la décision. Ces informations sont donc directement disponibles depuis le SIG (ainsi que dans la base ACCESS).

Lorsque l'utilisateur choisit cet item dans le menu général, un autre menu s'ouvre et lui propose (cf. illustration 56) :

- d'afficher tous les sites de forages ou toutes les sources,
- d'obtenir des informations sur un forage ou une source via un menu déroulant. Cette fonction réalise également un zoom graphique sur l'objet sélectionné.
- de sélectionner graphiquement un forage ou une source et de cliquer sur un bouton permettant de visualiser les données de ce point.

Lorsque l'utilisateur choisit de consulter les informations relatives à un point, une nouvelle fenêtre s'ouvre et vient télécharger des données stockées dans la base ACCESS. Les figures, images, et schémas recensés ont été classés par thématiques et sont visibles en basculant sur les différents onglets (cf. illustration 58 ci-dessous).

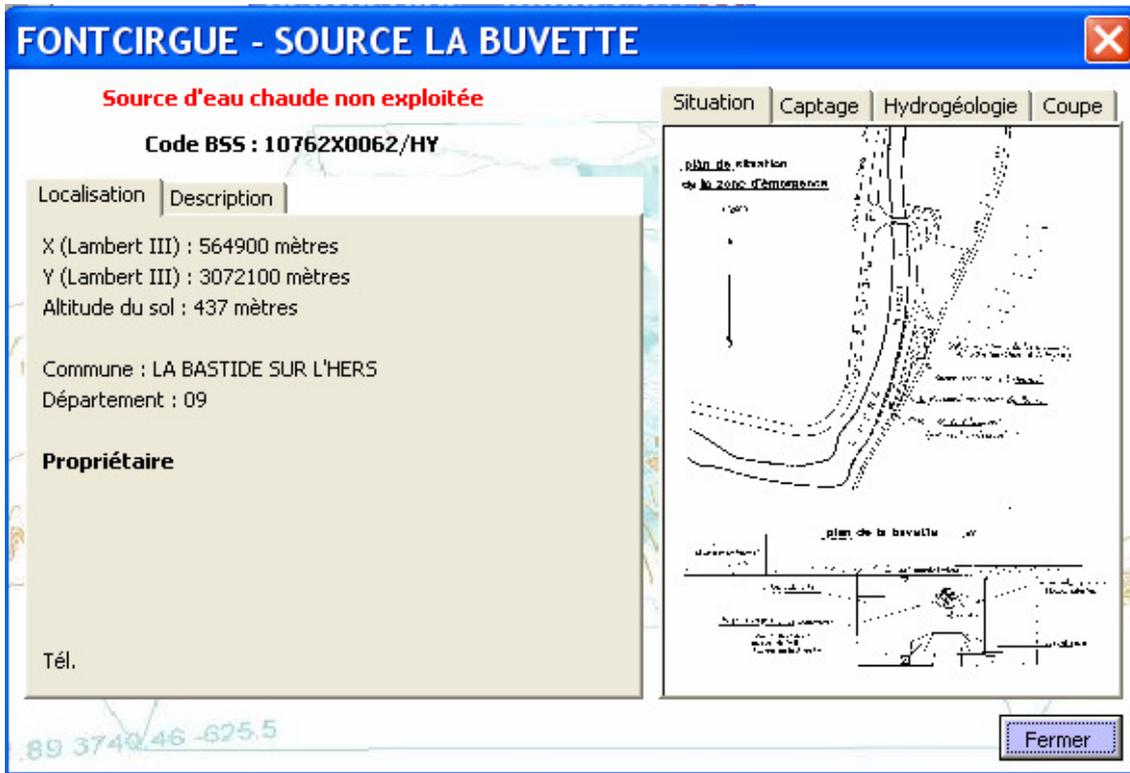


Illustration 58 – Aperçu du menu d'information d'une source d'eau chaude non exploitée

8.4. OPERATIONS DE GEOTHERMIE EXISTANTES OU ABANDONNEES

De la même manière que les sources et forages d'eau chaude non exploités, l'outil permet d'afficher et de consulter les données relatives aux opérations de géothermie existantes ou abandonnées recensées en Midi-Pyrénées.

Lorsque l'utilisateur choisit cet item dans le menu général, une fenêtre s'ouvre et propose (cf. illustration 59) :

- d'afficher tous les sites d'opération de géothermie,
- d'obtenir des informations sur ces opérations via un menu déroulant. Cette fonction réalise également un zoom graphique sur l'objet sélectionné.
- de sélectionner graphiquement une opération de géothermie et de cliquer sur un bouton permettant de visualiser les données de ce point.

Lorsque l'utilisateur choisit de consulter les informations relatives à un point, une nouvelle fenêtre s'ouvre et vient télécharger des données stockées dans la base ACCESS. Les figures, images, et schémas recensés ont été classés par thématiques et sont visibles en basculant sur les différents onglets (cf. illustration 54 ci-dessous).

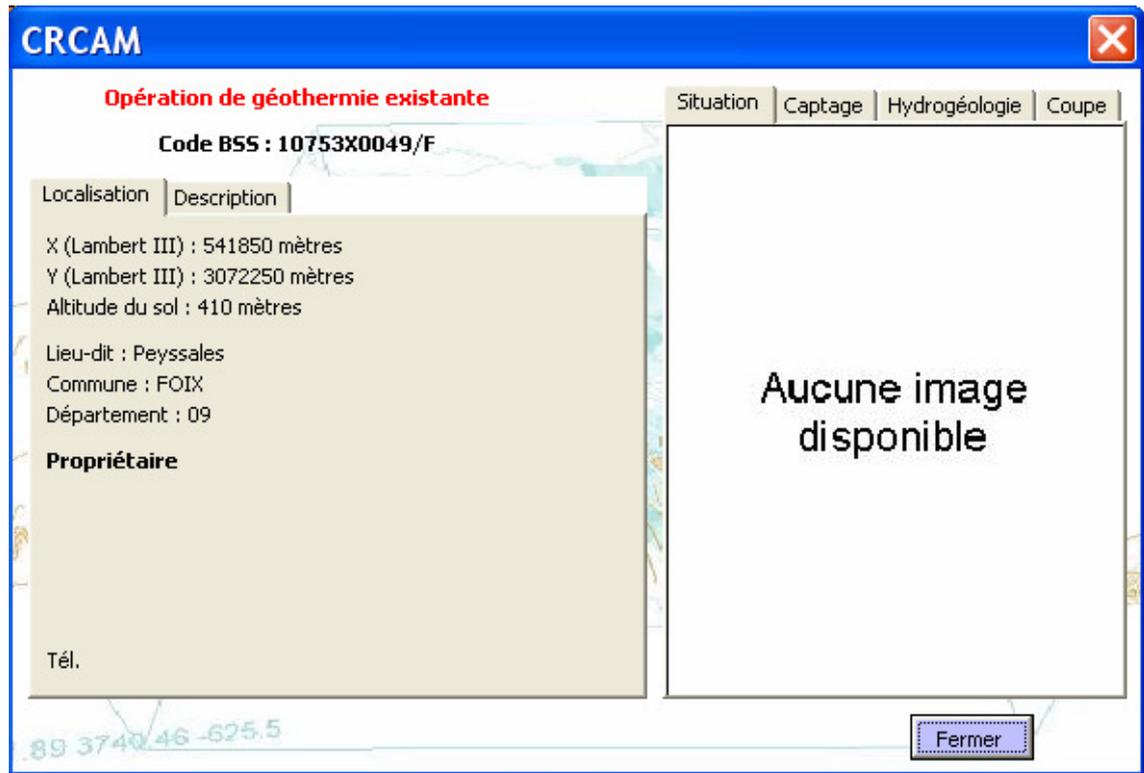


Illustration 59 – Extrait de la fenêtre descriptive de opérations de géothermie existantes

9. Conclusion et perspectives

L'objectif de l'étude est de fournir un outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse à basse énergie qui intéresse plus particulièrement les nappes alluviales et la nappe profonde des Sables Infra-molassiques.

En premier lieu, un point sur le principe de fonctionnement des différents procédés géothermiques a donc été réalisé. Il est complété par un tour d'horizon de la réglementation existante et par une synthèse des démarches à entreprendre pour la mise en place de telles installations.

Pour répondre à l'objectif d'outil d'aide à la décision, un SIG a été développé en lien avec une géodatabase. La région Midi-Pyrénées a donc été modélisée par des mailles de 500 m de côté, dont 18 620 se situent en domaine alluvial et 39 281 sont concernées par la nappe des sables Infra-molassiques. Un important travail de collecte, de traitement et de saisie de données a été réalisé et a permis de renseigner chaque maille « active » sur la cote du toit et du mur, la piézométrie, le débit d'exploitation, la température et les autres paramètres physico-chimiques limitants de l'aquifère. Ce travail a été largement compliqué par des données de qualité et de densité très hétérogènes en fonction des secteurs.

En parallèle, un recensement des opérations de géothermie existantes ou ayant fait l'objet d'une étude de faisabilité a été réalisé. Ces opérations concernent aussi bien l'exploitation des Sables Infra-molassiques, que la mise en place de pompes à chaleur dans les nappes alluviales. Cependant, ces dernières ne peuvent faire l'objet d'un décompte exhaustif par manque de centralisation de la donnée.

Enfin, une campagne de collecte d'informations a été menée sur les sources et forages d'eau chaude non exploités (SCNE) de la région Midi-Pyrénées. Un questionnaire envoyé auprès des communes concernées a permis de sélectionner des points d'eau potentiellement intéressants, qui feront l'objet d'une visite sur site en 2007.

L'ensemble des informations collectées sur les opérations de géothermie et sur les SCNE de Midi-Pyrénées ont été saisies dans une base de données et sont valorisées sous forme de fiches descriptives.

Dans la seconde phase de l'étude, réalisée au cours du premier trimestre de l'année 2007, une analyse multicritères permettant de quantifier le potentiel d'exploitation des aquifères pour la géothermie dans chaque maille du modèle a été réalisée. Elle permis d'évaluer le potentiel géothermique ou la recette calorifique des aquifères, ainsi que le degré d'importance des surcoûts d'investissement et de fonctionnement pour l'aquifère des SIM. Les résultats de cette classification montrent que :

- pour les nappes alluviales : près d'un tiers du territoire régional présente une nappe alluviale et 85 % de la surface de l'aquifère présentent de bonnes à très bonnes potentialités géothermiques. Ce résultat laisse espérer un développement intéressant des installations de pompes à chaleur.
- pour les SIM : plus de la moitié de la région est couverte par les SIM, dont 75 % présentent de bonnes à très bonnes potentialités géothermiques. Au niveau départemental, la plus grande couverture des SIM se retrouve dans le Gers, puis dans la Haute-Garonne avec 85 à 91 % de surface à bonnes potentialités géothermiques. Les Hautes-Pyrénées, avec 64 % de la surface des SIM à faible potentiel et l'Ariège, avec 32 %, sont les départements où l'aquifère semble le moins intéressant sur une bonne partie de leur extension.

En parallèle à ce travail de détermination du potentiel géothermique des aquifères, un recensement des opérations de géothermie existantes ou ayant fait l'objet d'une étude de faisabilité a été réalisé. Ces opérations concernent aussi bien l'exploitation des Sables Infra-Molassiques, que la mise en place de pompes à chaleur dans les nappes alluviales. Cependant, cet aperçu général et synthétique ne peut prétendre à l'exhaustivité par manque de centralisation de la donnée.

Enfin, une campagne de collecte d'informations a été menée sur les sources et forages d'eau chaude non exploités (SCNE) de la région Midi-Pyrénées. Un questionnaire envoyé auprès des communes concernées a permis de sélectionner 10 points d'eau potentiellement intéressants, qui ont l'objet d'une visite sur site en 2007.

L'ensemble des informations collectées sur les opérations de géothermie et sur les SCNE de Midi-Pyrénées ont été saisies dans une base de données et sont valorisées sous forme de fiches descriptives.

Enfin, un outil d'aide à la décision a été développé à partir d'un SIG (ArcView) lié à une base de données ACCESS. Il permet à l'utilisateur de connaître le potentiel géothermique des nappes alluviales et SIM sur des mailles de 500 m de côté qui couvrent le territoire régional. Cet outil permet également de consulter les informations collectées sur les opérations de géothermie existantes ou abandonnées, ainsi que sur les sources et forages d'eau chaude non exploités.

Cet outil a pour objectif d'apprécier en première approche l'intérêt de mettre en place un projet de géothermie très basse à basse énergie, mais n'a pas vocation à remplacer les études de faisabilité réalisées au droit des sites.

10. Bibliographie

Sources chaudes non exploitées

NARTE M. ; SOULE J-C (juillet 1987) – Département de la Haute-Garonne – Stations thermales et sources thermo-minérales. Rapport final. BRGM/87 SGN 559 MPY 9p., 3 ill., 7ann.

NARTE M. ; SOULE J-C (décembre 1985) – Département des Hautes-Pyrénées – Stations thermales et sources thermo-minérales. Rapport final. BRGM/85 SGN 596 MPY 12p., 3 ill., 13ann.

NARTE M. ; (mai 1989) – Département du Lot – Stations thermales et sources thermo-minérales. Rapport final. BRGM/89 SGN 363 MPY 10p., 3 ill., 3ann.

NARTE M. ; (décembre 1989) – Département du Tarn – Stations thermales et sources thermo-minérales. Rapport final. BRGM/R 60168, 5p., 2 ill., 3ann.

NARTE M. PARIS J-P, SOULE J-C; (décembre 1984) – Département de l'Ariège – Stations thermales et sources thermo-minérales. Rapport final. BRGM/84 AGI 382 MPY, 13p., 3 ill., 9 ann.

NARTE M. ; (novembre 1988) – Département du Gers – Stations thermales et sources thermo-minérales. Rapport final. BRGM/88 SGN 780 MPY, 10p., 1 ill., 5ann.

NARTE M. ; (octobre 1989) – Département du Tarn-et-Garonne – Stations thermales et sources thermo-minérales. Rapport final. BRGM/88 SGN 744 MPY, 5p., 1 ill., 2ann.

REZA M., GHAFOURI H. (1968) - Etudes hydrogéologique des sources thermo-minérales des Pyrénées – Thèse – Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux, 210p.

Potentialité des aquifères

BRGM / 76 SGN 001 MPY : Etat des connaissances et synthèse hydrogéologique du département du Lot. J-C. Soulé (1976)

BRGM / 76 SGN 071 MPY : Etat des connaissances et synthèse hydrogéologique du département des Hautes-Pyrénées. J-C. Soulé (1976)

BRGM / 78 SGN 070 MPY : Etat des connaissances et synthèse hydrogéologique du département de Tarn-et-Garonne. J-C. Soulé (1978)

BRGM / 80 SGN 058 MPY : Etat des connaissances et synthèse hydrogéologique du département du Tarn. J-C. Soulé (1980)

Université Paul Sabatier (Toulouse) : Aptitude à l'aménagement de la plaine alluviale de l'Ariège ; facteurs hydrogéologiques et hydro-pédologiques. Thèse de doctorat soutenue par M-T. Cugny (juin 1980)

BRGM / 68 SGL 028 MPY : Ville de Toulouse - Cimetière suburbain de Cornebarrieu - Etude préliminaire du rabattement de la nappe alluviale. J. Roche (1968)

BRGM / 70 SGN 026 MPY : Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur la feuille topographique au 1/50 000 Muret (1009) (Haute-Garonne). Etat des connaissances. C. Dassibat (1970)

BRGM / 75 SGN 132 MPY : Nappe alluviale de la basse plaine de la Garonne dans la région Toulousaine - Influence Gravières/Captages - Recommandations pour leurs implantations. M. Vandenbeusch (1975)

BRGM / 77 SGN 088 MPY : Etude du comportement dynamique de la nappe alluviale dans la Z.U.P. du Mirail (2ème tranche) - Modèle de simulation mathématique. J. Roche ; M. Vandenbeusch (1977)

BRGM / 74 SGN 002 MPY : Etude des relations eau de surface – eau souterraine dans la vallée du Lot entre Livinhac et Fumel. J-C Soulé (1974)

BRGM / 71 SGN 382 MPY : Hydrogéologie des terrasses alluviales de la Garonne entre Montréjeau et Martres-Tolosane. (1971)

BRGM DSGR 66 A 39 : Etude hydrogéologique de la coupure topographique au 1/50000^{ème} LAVAUR (Tarn). Y. Gourinard, I. Maersche, J. Roche et A. Vendenberghé (1966)

BRGM : Fiches de caractérisation des systèmes aquifères élaborées dans le cadre de la BDRHF-V1

Université Bordeaux 3 – Institut EGID : Contribution de la géochimie à la connaissance des écoulements souterrains profonds. Application à l'aquifère des Sables Infra-Molassiques du Bassin Aquitain. Thèse de Docteur en Science et Technologie, spécialité des sciences de l'eau soutenue par L. André (juin 2002).

BRGM / RP-52237-FR : Aptitude des nappes de l'agglomération toulousaine au développement des systèmes de climatisation. M. Ghyselincx (janvier 2004)

BRGM / RP-54340-FR : Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. F. Jaudin et J-C. Martin (décembre 2005)

BRGM / RP-54542-FR : Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Etude cartographique et statistique des débits spécifiques des forages d'eau. Rapport intermédiaire n°2a. J-C. Martin, J. Printemps et S. Remaud (février 2006)

BRGM / RP-54175-FR : Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Géométrie et niveaux piézométriques des principales formations aquifères. Rapport intermédiaire n°2b. J-C. Martin, I. Bacquet, B. Tourlière (juin 2006)

JAUDIN F., MARTIN J-C. (décembre 2005) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-54340-FR, 50p., 5 ill., 1ann.

MARTIN J-C., PRINTEMPS J. REMAUD S. (février 2006) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Etude cartographique et statistique des débits spécifiques des forages d'eau. Rapport intermédiaire n°2a. BRGM/RP-54542-FR, 76p., 35 ill., 2 ann.

MARTIN J-C., BACQUET I., TOURLIERE B. (juin 2006) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Géométrie et niveaux piézométriques des principales formations aquifères. Rapport intermédiaire n°2b. BRGM/RP-54175-FR, 73p., 36 ill., 4 ann.

BRGM / RP-53306-FR : Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France. Partie 1 : atlas hydrogéologique. S. Schomburgk, C. Gateau, O. Goyénèche (mai 2005)

BRGM / RP-53306-FR : Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France. Partie 2 : Guide technique, administratif et méthodologique. P. Gourmez (février 2006)

BRGM : Potentiel géothermique du bassin aquitain. B. Housse et P. Maget (décembre 1977)

BRGM / 81 SGN 195 MPY : Possibilité d'utilisation des nappes d'eaux souterraines peu profondes pour le chauffage par pompes à chaleur : département du Tarn (J-C. Soulé, 1981)

BRGM / 81 SGN 196 MPY : Possibilité d'utilisation des nappes d'eaux souterraines peu profondes pour le chauffage par pompes à chaleur : département du Tarn-et-Garonne (J-C. Soulé, 1981)

Possibilité d'utilisation des nappes eaux souterraines peu profondes pour le chauffage par pompes à chaleur : département de Haute-Garonne (J-C. Soulé, 1980)

BRGM / RN-00959-FR : Cartographie des coûts d'un captage de la nappe des sables sous-molassiques en région Midi-Pyrénées. F. Bel, B. Rozès et G. Chevalier-Lemire (Décembre 1993)

Notices des cartes géologiques au 1/50000^{ème} couvrant les zones alluviales

Annexe 1

CCE : Fiches d'opérations standardisées

La liste des principaux textes législatifs sur le sujet est consultable sur le site de la DGEMP <http://www.industrie.gouv.fr/energie/developp/econo/cee-clics.htm#3> :

- circulaire du 18 juillet 2006 relative à la délivrance des certificats d'économie d'énergie qui précise notamment les diverses modalités d'instruction des demandes de certificats d'économies d'énergie ;
- arrêté du 19 juin 2006 définissant les opérations standardisées d'économies d'énergie ;
- arrêté du 19 juin 2006 fixant la liste des pièces d'un dossier de demande de certificats d'économies d'énergie ;
- arrêté du 30 mai 2006 relatif aux modalités d'application du dispositif de certificats d'économies d'énergie ;
- décret n° 2006-603 du 23 mai 2006 relatif aux certificats d'économies d'énergie ;
- décret n° 2006-600 du 23 mai 2006 relatif aux obligations d'économies d'énergie dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie ;
- décret n° 2006-604 du 23 mai 2006 relatif à la tenue du registre national des certificats d'économie d'énergie.

Voir les exemples de fiches standardisées se référant à la géothermie.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° BAR-TH-03

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'application

Bâtiment résidentiel : maisons individuelles et appartements existants.

2. Dénomination

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP) mesuré selon la norme EN 14511 égal ou supérieur à 3.

Mise en place réalisée par un professionnel.

Informations à fournir impérativement : ancienneté du bâtiment (avant ou après 75).

4. Durée de vie conventionnelle

16 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Maison individuelle		
COP	Zone climatique	KWh cumac
3,5 > COP ≥ 3	H1	150 000
	H2	120 000
	H3	81 000
4 > COP ≥ 3,5	H1	160 000
	H2	130 000
	H3	87 000
COP ≥ 4	H1	165 000
	H2	140 000
	H3	91 000

Facteur correctif (1)	Surface habitable en m ²	Nombre de pièces principales
0,2	< 35	1
0,4	35 – 60	2
0,7	60 – 80	3
0,9	80 – 100	4
1,1	100 – 130	5
1,4	> 130	≥6

X

Appartement		
COP	Zone climatique	KWh cumac
3,5 > COP ≥ 3	H1	62 000
	H2	50 000
	H3	34 000
4 > COP ≥ 3,5	H1	67 000
	H2	54 000
	H3	36 000
COP ≥ 4	H1	69 000
	H2	57 000
	H3	38 000

Facteur correctif (1)	Surface habitable en m ²	Nombre de pièces principales
0,3	< 35	1
0,7	35 – 60	2
1	60 – 80	3
1,4	80 – 100	4
1,7	100 – 130	5
2,2	> 130	≥6

X

(1) Le facteur correctif est déterminé à partir soit du nombre de pièces principales, soit de la surface habitable.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAT-TH-13**

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'application

Bâtiment tertiaire : locaux du secteur tertiaire existants, de surface totale inférieure à 5000 m².

2. Dénomination

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau sur un système de chauffage électrique direct.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP) mesuré selon la norme EN 14511 égal ou supérieur à 3.

Mise en place réalisée par un professionnel.

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire en kWh cumac / m ²				Surface en m ²	Zone climatique	Facteur correctif
Branche d'activité	3 ≤ COP < 3,5	3,5 ≤ COP < 4	4 ≤ COP			
Bureaux	1 000	1 100	1 200	S	H1	1,1
Enseignement	680	720	760		H2	0,9
Commerces	760	820	850		H3	0,6
Hôtellerie – Restauration	820	880	930			
Santé	950	1 000	1 100			



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **RES-CH-01**

**Production de chaleur renouvelable en réseau
(France métropolitaine)**

1. Secteur d'application

Bâtiment résidentiel collectif et bâtiment tertiaire en France métropolitaine

2. Dénomination

Mise en place d'un système de production de chaleur renouvelable (géothermie, incinération, bois – énergie, biogaz, chaleur industrielle ...) sur un réseau de chaleur.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Cette fiche s'applique aux installations non soumises à la Directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre.

On utilise pour la chaleur renouvelable nette la définition retenue dans le décret n° 99-360 du 5 mai 1999 portant sur les réseaux classés de distribution de chaleur et de froid qui intègre à la fois les énergies renouvelables et de récupération

La chaleur renouvelable nette sera déterminée par une étude spécifique. Le terme kWh_{th} est égal au nombre de kWh renouvelables net produits et valorisés par an par l'installation.

4. Durée de vie conventionnelle

Pour les sources d'énergie Bois Energie et Biogaz : 15 ans.
Pour les sources d'énergie UIOM – Déchets, Géothermie et autres : 20 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Source d'énergie	Coefficient cumac	Chaleur renouvelable nette en kWh _{th} / an
Bois Energie Biogaz	11,563	kWh_{th}
UIOM – Déchets Géothermie Autres	14,134	

X

Annexe 2

Garantie AQUAPAC



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



**GARANTIE SUR LA RESSOURCE
EN EAU SOUTERRAINE
A FAIBLE PROFONDEUR
UTILISEE
A DES FINS ENERGETIQUES**

Les nappes d'eau souterraines de faible profondeur
recèlent un potentiel énergétique utilisable grâce aux pompes à chaleur.

Cependant, il peut exister une incertitude sur les conditions d'utilisation de la ressource
naturelle qui dépend des caractéristiques géologiques locales.

La garantie **AQUAPAC**[®], créée par l'**ADEME**, le **BRGM**, et **EDF** prend en charge la
couverture financière de ce risque géologique,

Gestion administrative et financière du système de garantie :

SAF-ENVIRONNEMENT
195, Boulevard Saint Germain
75007 PARIS
Tél. : 01 58 50 76 76
Fax : 01 58 50 06 80

Herve.raimbault@caissedesdepots.fr

AQUAPAC est une assurance qui couvre les risques **géologiques** liés à la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère située en général à **moins de 100 m de profondeur**, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique en faveur des installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique **supérieure à 30 KW**. C'est donc une double garantie, dont les deux aspects sont indissociables :

- **La garantie de recherche** couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour le fonctionnement des installations tel qu'il avait été prévu,

- **La garantie de pérennité** couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation.

AQUAPAC assure pendant 10 ans les investissements réalisés pour le captage et le transfert de la ressource jusqu'à l'échangeur eau-eau et sa réinjection.

La garantie ne concerne pas les éventuels incidents de chantier, ni les conséquences des défauts de conception, de réalisation ou de maintenance.

Le Maître d'Ouvrage conserve l'entière responsabilité du respect de la réglementation, du choix des bureaux d'études ou entreprises, et de la réalisation de l'opération.

En aucun cas, AQUAPAC n'a pour objet de se substituer aux polices d'assurances dommage-ouvrage ou de responsabilité décennale au titre desquelles les opérateurs doivent normalement être couverts.

BENEFICIAIRES DE LA GARANTIE AQUAPAC

Les Maîtres d'ouvrages ou leurs mandataires (bureaux d'études, entreprises, prestataires de services, exploitants) désireux de se prémunir vis-à-vis des aléas géologiques liés à l'utilisation énergétique de l'eau souterraine à des fins de **chauffage** et/ou de **climatisation** peuvent souscrire la garantie AQUAPAC.

Cette garantie s'applique à tous les secteurs économiques: habitat, tertiaire, industriel ou agricole, qu'il s'agisse de bâtiments neufs ou existants, et quelle que soit la puissance de l'installation thermique.

ATTRIBUTION DE LA GARANTIE

Un Comité composé des représentants de l'ADEME, du BRGM, et d'EDF, assisté de la SAF-Environnement, décide de l'attribution, ou non, de la garantie, après examen d'un dossier que le requérant aura déposé auprès de la Saf-Environnement .

Ce dossier, dont un modèle peut être demandé auprès de la Saf-Environnement doit comprendre :

- **L'identification** de l'opération concernée, sa localisation et ses différents acteurs,

- **Une fiche descriptive** des besoins thermiques, et du mode d'évaluation des besoins en eau,

- **Une étude de faisabilité du projet** comportant une évaluation des contraintes réglementaires et environnementales, les caractéristiques de la ressource, le mode de captage et de réinjection, les essais et mesures hydrogéologiques prévus, la description de l'installation et des ouvrages de sous-sol et de surface,

- **les éléments économiques** comprenant les coûts prévisionnels d'investissement et de fonctionnement : études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, échangeur, PAC,

- **Le montant des investissements** pour lesquels la garantie est demandée, qui devra être clairement établi.

Si l'avis du Comité AQUAPAC est favorable, un contrat est alors signé entre la SAF et le Maître d'Ouvrage qui verse **en une seule fois, et au moment de la souscription de chaque garantie**, les cotisations et commissions forfaitaires suivantes :

- *Pour la garantie de recherche* :

- une cotisation égale à **5%** du montant des ouvrages garantis en recherche,

- *Pour la garantie de pérennité* :

- une cotisation égale à **4%** du montant des ouvrages garantis en pérennité,

FONCTIONNEMENT DE LA GARANTIE

Garantie de recherche

Risques couverts

Le risque couvert est celui de l'échec quant à la découverte du débit d'eau maximal de production fixé dans le contrat de garantie comme suffisant au fonctionnement correct des installations, à partir des éléments techniques fournis.

Le risque couvert est aussi celui de l'échec quant à la possibilité de réinjection du débit.

Montant garanti en recherche

Le montant garanti en recherche, fixé dans le contrat, est égal au coût réel des études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, désignés dans la demande de recherche, (plafonné au montant prévisionnel), déduction faite des subventions reçues.

Lorsque plusieurs forages sont prévus, le contrat est établi pour le premier, et étendu par avenant au suivant après chaque constat de succès.

Fonctionnement de la garantie

La garantie prend effet dès la signature du contrat et le versement des primes de la garantie de recherche.

Le Maître d'Ouvrage peut alors faire réaliser les travaux de forage.

Il doit informer la Saf-Environnement de la date des essais et de la date de réception des ouvrages.

La capacité des ouvrages est mesurée à la fin des travaux, et le rapport de fin de forage avec les résultats des essais hydrogéologiques doit être envoyé à la Saf-Environnement

Evaluation du résultat du forage

Suivant la valeur du débit mesuré au cours des essais, il y aura succès, échec partiel ou échec total :

- *Succès* : le débit trouvé est supérieur ou égal au débit contractuel ;
- *Echec total* : le débit trouvé est inférieur à la moitié du débit contractuel ;
- *Echec partiel* : le débit trouvé est compris entre ces deux valeurs.

En cas de succès le demandeur reçoit alors l'appel de cotisation pour la garantie de pérennité, qui est accordée pour dix ans à partir de la date de réception du paiement de la cotisation correspondante.

Calcul de l'indemnité « recherche »

En cas d'échec total, le Comité AQUAPAC déclenche le versement de l'indemnité, égale au montant garanti.

En cas d'échec partiel, le Maître d'ouvrage peut néanmoins exploiter la ressource en son état et bénéficier alors de la garantie de pérennité :

- la nouvelle valeur du débit exploitable est définie par un avenant au contrat de garantie ;
- le montant de l'indemnité est alors proportionnel au déficit en eau sur le débit garanti initial

Garantie de pérennité

Risques couverts :

Sous réserve d'un entretien correct des ouvrages et des équipements d'exploitation, attesté par un carnet de maintenance ou des factures de prestations de services, la garantie de pérennité couvre les risques suivants :

- a) *diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* au-dessous de la valeur garantie :
 - sinistre partiel : le débit diminue et atteint une valeur comprise entre la valeur garantie et la moitié de cette valeur.
 - sinistre total : le débit atteint une valeur inférieure à la moitié du débit de garantie

b) *dommages* aux matériels de puisage et de réinjection et/ou aux équipements du circuit primaire, y compris l'échangeur, occasionnés par des changements survenus dans les caractéristiques de la ressource dus à des causes naturelles ou de voisinage.

Durée de la Garantie

La garantie est accordée pour une période de **10 ans** à partir de la date effective de mise en service.

Elle peut être différée en cas de forage d'essai. Si ce délai dépasse 6 mois, un nouvel essai de pompage devra être effectué.

Montant garanti en pérennité

Le montant garanti, fixé par contrat, est égal au coût de l'ensemble des ouvrages primaires neufs : forages, pompes, matériels de surface, y compris l'échangeur eau-eau. Ces coûts s'entendent toutes subventions déduites.

Pour tenir compte de l'amortissement de l'installation, ce montant garanti diminue de 5 % par semestre écoulé.

En cas d'échec total, le coût prévisionnel des travaux nécessaires à la restauration fonctionnelle de l'installation, peut être également garanti.

Calcul de l'indemnité « pérennité »

L'assiette **A** de l'indemnisation est calculée ainsi :

a) *Diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* :

- en cas de sinistre partiel, **A** = la fraction du montant garanti proportionnelle au déficit en eau,
- en cas de sinistre total, **A** = montant garanti

b) *Dommages* :

- en cas de poursuite de l'exploitation, **A** = coût réel des travaux de remise en état, plafonné au montant garanti,
- en cas d'abandon de l'exploitation, **A** = montant garanti.

Fonctionnement de la garantie

En cas de constat de modification des caractéristiques de la ressource de nature à perturber l'exploitation, le maître d'ouvrage ou l'exploitant adresse une déclaration de sinistre à la Saf-Environnement.

Des essais hydrogéologiques peuvent alors être réalisés par le maître d'ouvrage, en accord avec le Comité qui pourra mandater un expert.

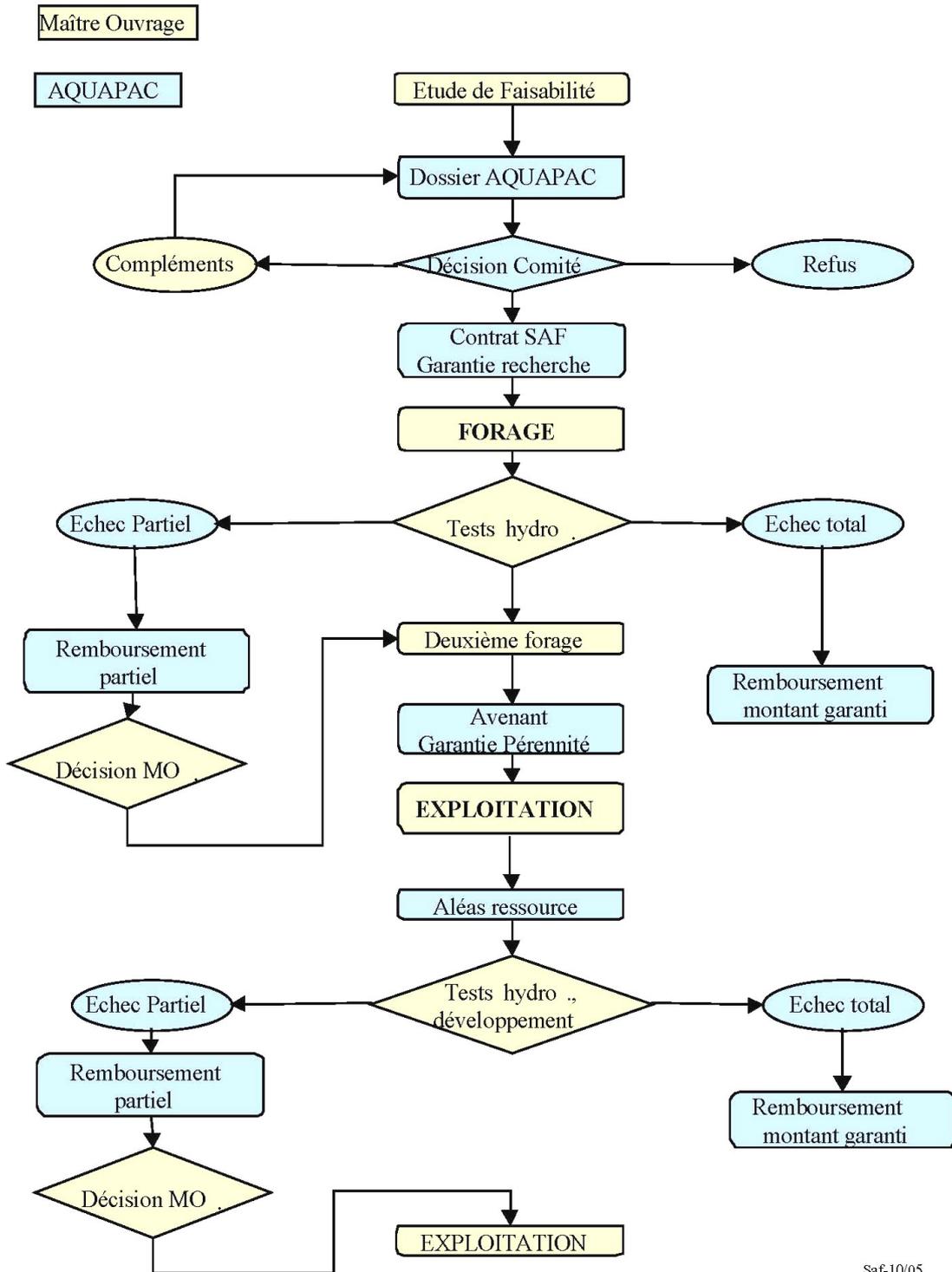
Ensuite, le Comité apprécie la recevabilité du sinistre et déclenche, s'il y a lieu, le paiement des indemnités.

Le Comité se réserve toutefois la possibilité en lieu d'indemnisation de restaurer le forage ou l'installation

PLAFOND

Les indemnisations sont plafonnées à **115 000 Euros** par sinistre.

Procédure AQUAPAC



Saf-10/05

4

Annexe 3

Devis simulés pour l'installation de PAC sur habitations individuelles (Origine : France Géothermie)

Mme & M. DURAND
18 CHEMIN DES VIOLETTES
31000 TOULOUSE

L'UNION, le

Madame, Monsieur,

Nous vous remercions de nous avoir confié les plans de votre maison pour laquelle nous avons réalisé une étude précise des besoins calorifiques et des consommations prévisionnelles.

Les Procédés FRANCE GEOTHERMIE, vous apporteront le confort d'un chauffage basse température, le respect de notre environnement et la maîtrise de votre budget chauffage.

Tous ceux qui participeront à votre projet, de l'ingénierie à l'installation ainsi que le service après vente, veilleront à vous donner entière satisfaction.

DEVIS N° 00043
Pour Mme & M. DURAND
à TOULOUSE

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, l'assurance de notre considération distinguée.

sarl ARNAUD



Éléments de l'Etude

Lieu de Construction	TOULOUSE
Altitude	200 m
Zone Climatique	H2
Station d'observation	Toulouse (Observatoire)
Degrés Jours Unifiés	2035
Température Ext. de Base Corrigée	-5 °C
Température de confort	21 °C
G référence	0,87
Surface équipée	100 m ²
Volume chauffé	250 m ³

Déperdition totale	5655 w
Puissance à installer (Déper.+20%)	6786 w
Puissance installée	9000 w
Puissance consommée	2030 w
Tension	230 v
Débit mini constant de la pompe	2,06 m ³ / heure
COP Nominal (1)	3,5

(1) COP Nominal de la PAC aux valeurs réglementaires éligible au Crédit d'impôt.

Projection Financière

Consommation France Géothermie 2411 kwh par an Soit 225 € par an

(Projection à titre indicatif, pour une habitation aux normes d'isolation de la RT2005)

Energie nécessaire pour chauffer votre habitation sur un an : **10 198 kwh** (hors réversibilité, piscine, ECS).

Energie	Prix kwh	Rendement Moyen	Prix kwh Corrigé	Consommation annuelle	Abonnement ***EDF / GDF	Entretien	Total Coût annuel	Cumul conso. sur 15 ans **
Electricité	0,093 €	0,98	0,095 €	972 €	274 € 12 kVA	0 €	1 246 €	20 972 €
Gaz propane	0,106 €	0,85	0,125 €	1 273 €	106 € 6 kVA	178 €	1 557 €	27 468 €
Fuel	0,061 €	0,85	0,071 €	727 €	106 € 6 kVA	234 €	1 067 €	15 688 €
Gaz naturel	0,054 €	0,85	0,063 €	647 €	231 € 6 kVA*	178 €	1 056 €	13 953 €
France Géothermie	0,093 €	4,23	0,022 €	225 €	106 € 6 kVA	144 €	475 €	4 859 €

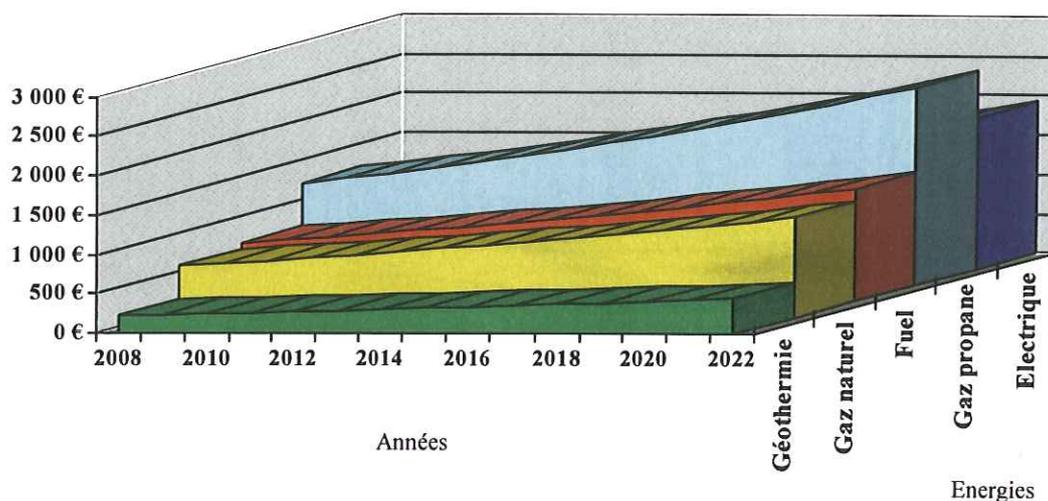
Source : www.industrie.gouv.fr - Novembre 2006. Les consommations ne sont pas garanties par la SA * abonnement 6kVA à 106 € + abonnement gaz à 125 €
Prix TTC TVA à 19,6%

Les consommations pour l'Electricité sont calculées hors label Vivrélec.

** calculé avec une hausse de 5% par an du coût des énergies

*** La Puissance de l'abonnement EDF peut varier en fonction des équipements de l'habitation. Un système de délestage est conseillé pour les installations puissantes.

Coût annuel ttc



EVOLUTION DES CONSOMMATIONS PAR ENERGIE SUR 15 ANS



Descriptif Matériel

Zone	Pièces	Surface	Volume
Z1		100 m ²	250 m ³
		100 m ²	250 m ³

Le(s) Générateur(s)

Ref	Qté	Désignation
110741	1	Isara 06 Mono R St



Isara 6 à 16

Les Accessoires

Ref	Désignation	Qté	Unité
30007	Kit Collecteur Plancher 7 D	1	U
30505	Tube Per Nu Bleu 13X16 C240M	522	M
30550	Tube Per 20X25 C50M	30	M
50205	Clips Cavalier Ep 6 Mm Noir	1566	U
39111	Antigel 20 Litres Neutragard	8	L
31301	Circulateur Rs 25/6	1	U
40001	Thermostat Électronique Hebdomadaire Fil	1	U
31100	Controleur De Débit A Palette	1	U
2090	Vanne À Opercule 1"	1	U

Les Accessoires supplémentaires

Ref	Désignation	Qté	Pose
82055	Etude D'Implantation < 200 M ²	1	<input checked="" type="checkbox"/>
1000	Petites Fournitures Chantier	1	<input checked="" type="checkbox"/>
115520	Kit Ecs Isara R St 6 13 Kw + Ballon Elect	1	<input checked="" type="checkbox"/>
550	Petites Fournitures ECS	1	<input checked="" type="checkbox"/>

L'Installation

Mise en œuvre des capteurs (hors PAP)
 Pose des liaisons frigorifiques et hydraulique (hors PAP)
 Pose du réseau intérieur (hors PAP)
 Montage, raccordement du générateur et du thermostat
 Essais et mise en service

L'Ingénierie

Bilan thermique pièce par pièce
 Détermination du réseau intérieur
 Dimensionnement et positionnement de la PAC
 Réservations pour le passage des tubes
 Définition de l'alimentation électrique
 Conception assistée par ordinateur des plans d'implantation

Commentaires :

Système reconnu
 dans le cadre de
 l'attribution des
 Labels
 PROMOTELEC

Montant HT	12 509,91 €
TVA 19,6%	2 451,94 €
Montant total TTC	14 961,85 €

Validité de l'offre : 1 mois

Photos non contractuelles

*Montant estimatif à titre indicatif du Crédit d'impôt sur les énergies renouvelables suivant les informations transmises par le client : **4 669 €**

*L'attribution du crédit d'impôt est soumise aux décisions et/ou modifications gouvernementales ainsi qu'aux modalités d'obtention. FRANCE GEOTHERMIE ne peut être tenu responsable du défaut de la perception du crédit d'impôt et/ou de sa reprise.

Mme & M. DURAND
18 CHEMIN DES VIOLETTES
31000 TOULOUSE

L'UNION,

Madame, Monsieur,

Nous vous remercions de nous avoir confié les plans de votre maison pour laquelle nous avons réalisé une étude précise des besoins calorifiques et des consommations prévisionnelles.

Les Procédés FRANCE GEOTHERMIE, vous apporteront le confort d'un chauffage basse température, le respect de notre environnement et la maîtrise de votre budget chauffage.

Tous ceux qui participeront à votre projet, de l'ingénierie à l'installation ainsi que le service après vente, veilleront à vous donner entière satisfaction.

DEVIS N° 00043
Pour Mme & M. DURAND
à TOULOUSE

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, l'assurance de notre considération distinguée.

sarl ARNAUD



Éléments de l'Etude

Lieu de Construction	PAMPELONNE
Altitude	480 m
Zone Climatique	H2
Station d'observation	Lacaune
Degrés Jours Unifiés	2250
Température Ext. de Base Corrigée	-7 °C
Température de confort	21 °C
G référence	1,2
Surface équipée	123 m ²
Volume chauffé	273 m ³

Déperdition totale	9173 w
Puissance à installer (Déper.+20%)	11007 w
Puissance installée	12000 w
Puissance consommée	3970 w
Tension	400 v
Surface de captage par décapage à 0,6 m	265 m ²
COP Nominal (1)	3,91

(1) COP Nominal de la PAC aux valeurs réglementaires éligible au Crédit d'impôt.

Projection Financière

Consommation France Géothermie 6022 kwh par an Soit 562 € par an

(Projection à titre indicatif, pour une habitation aux normes d'isolation de la RT2005)

Energie nécessaire pour chauffer votre habitation sur un an : **16 983 kwh** (hors réversibilité, piscine, ECS).

Energie	Prix kwh	Rendement Moyen	Prix kwh Corrigé	Consommation annuelle	Abonnement ***EDF / GDF	Entretien	Total Coût annuel	Cumul conso. sur 15 ans **
Electricité	0,093 €	0,98	0,095 €	1 619 €	358 € 15 kVA	0 €	1 977 €	34 925 €
Gaz propane	0,106 €	0,85	0,125 €	2 120 €	106 € 6 kVA	178 €	2 404 €	45 745 €
Fuel	0,061 €	0,85	0,071 €	1 211 €	106 € 6 kVA	234 €	1 551 €	26 127 €
Gaz naturel	0,054 €	0,85	0,063 €	1 077 €	231 € 6 kVA*	178 €	1 486 €	23 238 €
France Géothermie	0,093 €	2,82	0,033 €	562 €	190 € 9 kVA	144 €	896 €	12 138 €

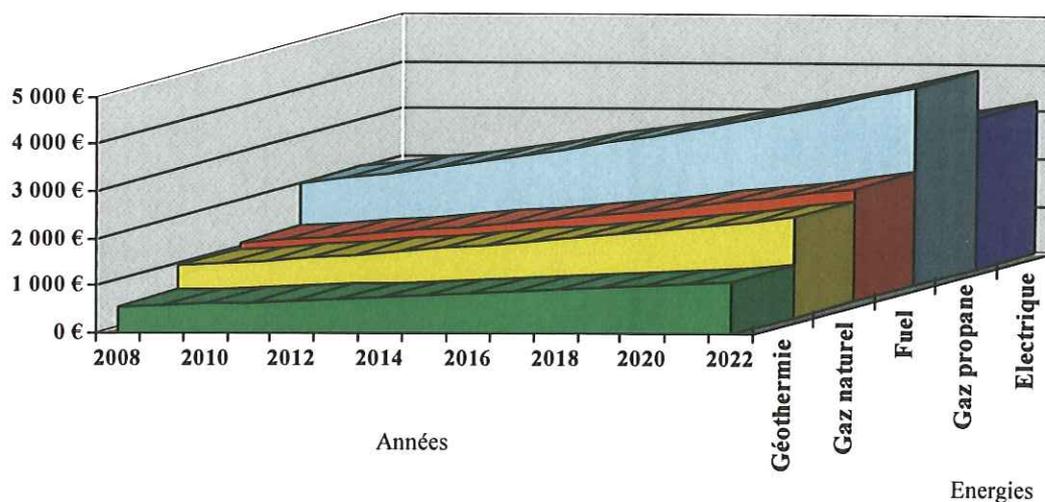
Source : www.industrie.gouv.fr - Novembre 2006. Les consommations ne sont pas garanties par la SA * abonnement 6kVA à 106 € + abonnement gaz à 125 €
 Prix TTC TVA à 19,6%

Les consommations pour l'Electricité sont calculées hors label Vivrélec.

** calculé avec une hausse de 5% par an du coût des énergies

*** La Puissance de l'abonnement EDF peut varier en fonction des équipements de l'habitation. Un système de délestage est conseillé pour les installations puissantes.

Coût annuel ttc



EVOLUTION DES CONSOMMATIONS PAR ENERGIE SUR 15 ANS



Descriptif Matériel

Zone	Pièces	Surface	Volume
Z1		79 m ²	174 m ³
Z2		44 m ²	99 m ³
		123 m ²	273 m ³

Le(s) Générateur(s)

Ref	Qté	Désignation
110756	1	Isara 12 Tri C St



Isara 6 à 16

Les Accessoires

Ref	Désignation	Qté	Unité
31310	Circulateur Top-S 25/7 Mono	2	U
30541	Tube Pe Nu Vert Capteur Geothe 20 Mm C	800	M
30545	Tube Pe Nu Vert Capteur Geothe 32 Mm C	30	M
32020	Regard + Couvercle Pvc 1030X630X460	1	U
30038	Kit Collecteur Capteur Isara 8 D	1	U
39110	Antigel 20 Litres	60	L
40001	Thermostat Électronique Hebdomadaire Fil	1	U

Les Accessoires supplémentaires

Ref	Désignation	Qté	Pose
82055	Etude D'Implantation < 200 M ²	1	<input checked="" type="checkbox"/>
560	Petites Fournitures Réservoir Tampon	1	<input checked="" type="checkbox"/>
31170	Purgeur Automatique 3/8" M	1	<input checked="" type="checkbox"/>
2090	Vanne À Opercule 1"	1	<input checked="" type="checkbox"/>
30256	Tranfo Pour Servo-Moteur 0/10V Ref 302	1	<input checked="" type="checkbox"/>
30276	Vanne Laiton 3 Voies 1" Mmm 0 / 10 Volt	1	<input checked="" type="checkbox"/>
30255	Servomoteur Vanne 3 Voies 0/10 V Ref3	1	<input checked="" type="checkbox"/>
31310	Circulateur Top-S 25/7 Mono	1	<input checked="" type="checkbox"/>
31350	Vanne À Sphere Isolement Pour Circulat	2	<input checked="" type="checkbox"/>
1000	Petites Fournitures Chantier	1	<input checked="" type="checkbox"/>
27	Radiateur 22/800/1200 (1500 W)	2	<input checked="" type="checkbox"/>
28	Radiateur 22/900/1400 (1700 W)	1	<input checked="" type="checkbox"/>
31301	Circulateur Rs 25/6	1	<input checked="" type="checkbox"/>
230040	Réservoir Tampon Isole 200 L	1	<input checked="" type="checkbox"/>

L'Installation

Mise en œuvre des capteurs (hors PAP)
 Pose des liaisons frigorifiques et hydraulique (hors PAP)
 Pose du réseau intérieur (hors PAP)
 Montage, raccordement du générateur et du thermostat
 Essais et mise en service

L'Ingénierie

Bilan thermique pièce par pièce
 Détermination du réseau intérieur
 Dimensionnement et positionnement de la PAC
 Réservations pour le passage des tubes
 Définition de l'alimentation électrique
 Conception assistée par ordinateur des plans d'implantation

Commentaires :

Système reconnu
 dans le cadre de
 l'attribution des
 Labels
 PROMOTELEC

Montant HT	15 570,37 €
TVA 5,5%	856,37 €
Montant total TTC	16 426,74 €

Validité de l'offre : 1 mois
 Photos non contractuelles

*Montant estimatif à titre indicatif du Crédit d'impôt sur les énergies renouvelables suivant les informations transmises par le client : **4 161 €**

*L'attribution du crédit d'impôt est soumise aux décisions et/ou modifications gouvernementales ainsi qu'aux modalités d'obtention. FRANCE GEOTHERMIE ne peut être tenu responsable du défaut de la perception du crédit d'impôt et/ou de sa reprise.

Annexe 4

Annuaire des entreprises de géothermie de Midi-Pyrénées et liste des « Foreurs qualité PAC »

Entreprises réalisant l'installation de PAC

Nom	Adresse	Tel	FAX	E mail	Dépt
Schmidt géothermie	Parc Delta Sud Hôtel Entreprise 09340 Verniolle (siège)	05 34 14 39 45		schmidt-geothermie@wanadoo.fr	9
Bureau d'Etudes Garros M.	6 r Denis Papin 09600 Laroque d'Olmes	05 61 01 15 97		marc.garros@wanadoo.fr	9
Centenero Gérard	23 r Hélène Boucher 09100 Pamiers	05 34 01 01 25		ariegeenergiesystemes@wanadoo.fr	9
Corsini Marc	1 chem Bucher 09100 Tour du Crieu (La)	05 61 67 35 07		corsini.marc@wanadoo.fr	9
Cau Gilles	Avenue Rhin et Danube 09420 Rimont	05 61 96 39 54			9
Dejean (SEE)	1 chem Darré Janino 09120 Coussa	05 61 60 73 97			9
Cau Gilles	Avenue Rhin et Danube 09420 Rimont	05 61 96 39 54			9
Baticap (SARL)	St Julien d'Empare Cavalié 12700 Capdenac Gare	05 65 64 78 06		baticap.sarl@wanadoo.fr	12
France Géothermie Searle Marc Concess. exclusif	573 rte de Rodez 12340 Bozouls	05 65 48 06 29		searle2@wanadoo.fr	12
Grippon Didier (EURL)	Le Bourg 12340 Saint Julien de Rodelle	05 65 44 97 74		didier.grippon@worldonline.fr	12
Molénat S & M (SARL)	La Citarelle 12320 Saint Cyprien sur Dourdou	05 65 69 86 56		molenat.chauffage@wanadoo.fr	12
Sud Aveyron Chauffage	300 r Etienne Delmas 12100 Millau	05 65 59 18 00		contact@sud-aveyron-chauffage.com	12
3C Campels Confort Chauffage	44 rte de Séverac 12850 Onet le Château	05 65 67 05 90		mc.boussignac@wanadoo.fr	12
Aveyron Energie	Le Cun 12200 Sanvensa	05 65 29 59 81			12
Aveyron Pompage	9 imp Mouettes 12850 Onet le Château	05 65 67 31 85			12
Bondoux David	Le Mas Compeyre 12520 Compeyre	05 65 59 83 22			12
Broussy Jean-Luc	Ruffepeyre 12390 Mayran	05 65 64 47 2			12
Ecosystem	500 bd Soulobres 12100 Millau	05 65 59 09 74			12
Energies Vertes Occitanes	Saint Agnan 12290 Ségur	05 65 58 15 30			12
Féral Rubio (SARL)	5 av Causse za Bel Air 12850 Onet le Château	05 65 42 20 08			12
H&P Clim	41 all Aristide Briand 12200 Villefranche de Rouergue	05 65 45 37 27			12
Malherbe Frédéric	La Planque 12190 Nayrac (Le)	05 65 44 43 26			12
Mirabel David	22 bd Penevayre 12200 Villefranche de Rouergue	05 65 45 14 63			12
RDS PRO LABO	r Thomas Edison za Bel Air 12000 Rodez	05 65 42 10 83			12
Sabathié Eric	rte Gare 12150 Recoules Prévinquières	05 65 70 73 58			12
France GEOTHERMIE 31	SARL ARNAUD Groupe Syclus Environnement 18 ch	05 62 89 34 20	05 34 27 11 93	fg31.arnaud@wanadoo.fr	31
Technique Froid Climatisation	22 chem Lapujade 31200 Toulouse	05 34 25 53 55		TFC.CLIM@wanadoo.fr	31
Climat concept	45 avenue de Toulouse 31650 Saint Orens de Gameville	05 61 00 27 47		climat-concept@wanadoo.fr	31
JMP Chauffage	Boulevard du Libre Echange 31650 Saint Orens	05 61 83 25 05		jmp@chauffage.fr	31
AMBITHERM	27 chem Moles 31120 PINSAGUEL	05 61 73 58 44	05 61 73 89 12		
Astea Energies Renouvelables	10 bis r Briqueterie 31340 Villemur sur Tarn	05 62 22 83 17		contact@astea.fr	31
Elecco	44 r Peupliers 31140 Aucamville	05 62 75 81 40		info@elecco-energies.com	31
GTCE	3 imp Bordeneuve 31620 Castelnau d'Estrétefonds	05 34 63 18 87		sarl.gtce@orange.fr	31
Labarrière et Cie	42 av Gén de Croutte 31100 Toulouse	08 71 59 37 47		eliosystem@eliosystem.com	31
M.M.C. Services	2 lot Pré aux Chênes 31470 Fontenilles	05 34 47 25 21		info@mmcservices.fr	31
Sofath Acclimance Concess. exclusif	127 chem Peyrette 31170 Tournefeuille	05 62 48 15 79		acclimance@wanadoo.fr	31
Agence Air Terre et Soleil	5 che Tomberoussy 31850 Montrabé	05 61 84 71 77		agenceairterreetsoleil@orange.fr	31
Atelier A	3900 rte de Fronton 31620 Castelnau d'Estrétefonds	05 61 09 74 42			31
Bati'clim	63 bd Silvio Trentin 31200 Toulouse	05 61 62 68 39		baticlim@wanadoo.fr	31
Cieutat Jean	1 r Jardins 31430 Fousseret (Le)	05 61 98 53 01		jean.cieutat@wanadoo.fr	31
Confort Géothermie Sud Ouest	5 bd Libre Échange ZAC Champs Pinsons 31650 Saint	05 61 75 78 76		geothermie-info@wanadoo.fr	31
DFC (Dépannage Froid Climatisation)	ZAC Montblanc 9 imp Léonce Couture 31200 Toulous	05 61 99 68 39		dfc@laposte.net	31
Domarco (EURL)	2 rte Lavalette 31180 Castelmaurou	05 61 74 08 40		eurl.domarco@akeonet.com	31
Dupin (EURL)	10 pl Poste 31650 St Orens de Gameville	05 61 39 04 84		eurl.dupin@wanadoo.fr	31
International A.M.I	28 r Dominique Clos 31300 Toulouse	05 61 30 22 90			31
Marty Bernard (SARL)	38 r Pierre Imbert 31250 Revel	05 61 27 57 77			31
Maurel et fils (Sarl)	En Feriol 31460 Maureville	05 61 83 14 94			31
Maz Elec Chauffage (SARL)	8 chem Bordes 31250 Revel BP 2	05 61 83 50 24			31

Atlas sur la géothermie très basse et basse énergie de la région Midi-Pyrénées

Montaut Guy	Cap del Bosc 31230 Labastide Paumès	05 61 94 00 66			31
NCE	4 av Gare 31120 Portet sur Garonne	05 61 92 94 01			31
Pandolfo Jean-François	Soule 31230 Molas	05 61 88 62 41			31
Pujol Didier	324 rte Villaudric 31620 Castelnau d'Estrétefonds	05 62 79 06 34			31
Art et Clim	31 r Auguste Guenot 31200 Toulouse	05 62 75 07 91			31
Belmonte J et Fils (SARL)	23 r Ariane 31240 Union (L')	05 61 80 95 61			31
Entreprise Luchonnaise SD	rte Sode 31110 Juzet de Lucho	05 61 79 74 47			31
Erso (sarl)	5 imp Palombières 31840 Aussonne	05 61 85 04 59			31
Aux Forges et Glacières (STE)	29 Grande Rue 32270 Aubiet	06 62 04 32 32 ou 05 62 67 99 42		contact@aux-forges-et-glacieres.fr	32
Home Energie	za Poupas BP 6 32340 Miradoux	05 62 28 67 93			32
SOFATH G.T.M.P Concess	Lauzero 32120 Saint Antonin	05 61 75 97 91			32
Delpech SARL	112 chemin de Belle Croix - La Beyne - 46000 CAHO	05.65.22.05.45		ets.delpech@wanadoo.fr	46
Lacoste Didier	17 zone artisanale 65220 Lalanne Trie	05 62 35 65 47		didier.lacoste.10@wanadoo.fr	65
Plomberie 65	9 r Sacré Coeur 65100 Lourdes	05 62 94 56 72		plomberie65@wanadoo.fr	65
Daube Jacques	40 chem Lac 65100 Lourdes	05 62 94 04 50			65
Titi et Robinet	26 avenue Maréchal Joffre 65000 Tarbes	05 62 34 08 36			65
Vignau Lamette (SARL)	16 bis av du Bois 65800 Aureilhan	05 62 37 55 50			65
Bigorre Innovation Chauffage	1 bis pl Foirail 65000 Tarbes	05 62 93 20 12			65
Entreprise Sabatier (EURL)	2741 rte d'Ondes 82170 Grisolles	tél-fax : .05 63 02 82 07		eurl-sabatier@wanadoo.fr	82
Artel Climat Froid	St Simon 82130 Lafrançaise	.05 63 02 64 49		artelclimatfroid@free.fr	82
Alvance Energie	147 chem Berthoumieu 82000 Montauban	05 63 92 10 74		alvance.energies@free.fr	82
CCSE Confort	r Presbytère 82600 Saint Sardos	05 63 02 24 15		ccsinfo@free.fr	82
Climat d'Oc	11 av Roger Salengro 82000 Montauban	05 63 20 56 67		climatdoc@yahoo.fr	82
Climsure Lagoa Génie Climatique Distrib	1029 bd Blaise Doumerc 82000 Montauban	05 63 92 13 58		lagoa.lagoa.fr	82
Duo Climat	712 rte Fabas 82170 Canals	05 63 02 75 07		duoclimat@free.fr	82
Entreprise Sabatier (EURL)	2741 rte d'Ondes 82170 Grisolles	05 63 02 82 07		eurl-sabatier@wanadoo.fr	82
Vast Joël	6 r Justice 82400 Valence d'Agen	05 63 39 66 81		jvast@wanadoo.fr	82
Zucconi Gérard	Millette 82600 Mas Grenier	05 63 64 49 33			82
Avenir Energies Nouvelles (AEN)	Moulin à Eau 82210 Castelmayran	05 63 95 46 61			82
Bourrié et Fils (SARL)	23 bd Léonce Granié 82300 Caussade	05 63 93 09 71			82
Carvalho Victor	235 chem de Pilate 82290 Montbeton	05 63 67 43 05			82
Delatouret Energie Sud	Les Muts 82700 Saint Porquier	05 63 24 19 96			82
Electric'Service	Gatille 82400 Goudourville	05 63 29 09 63			82
Lagoa Manuel	1029 bd Blaise Doumerc 82000 Montauban	05 63 92 13 58			82
Technipro	zi Barraouet 82100 Castelsarrasin	05 63 32 39 08			82
Tintinaglia Bruno	RN 113 82700 Escatalens	05 63 68 77 45			82
Viessmann Etablissements Prieur Distributeur	6 pl Libération 82000 Montauban	05 63 66 12 01			82
Conseil, diagnostic de performance énergétique					
ACER (Ariege Conseil Energie)	49 av Cadirac 09000 Foix	05 61 01 36 86			9
Orasun Consulting	36 bis chem St Amand 31100 Toulouse	.05 61 16 63 82			31

Annexe 5

Fiches descriptives des opérations de géothermie de la région Midi-Pyrénées

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10071X0012/F

Identification

Lieu-dit :
Dénomination : Lamazere 1 - GLA 1
Désignation : F
Commune : LAMAZERE
Département : 32

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 447160
Y Lambert 3 Carto (m) : 3141550
Altitude (m) : 148,84



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Associatio
Les serres géothermiques de Lamazère

Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10071X0012/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS : 10071X0012
Nature de l'ouvrage : Forage
Année de réalisation : 09/07/1981
Etat de l'ouvrage : Exploité
Profondeur de l'ouvrage : 1750
Profondeur du haut de la crépine : 1629
Profondeur du bas de la crépine : 1666
Diamètre du tubage : 339,72 mm de 0 à 351 / 244,47 mm de 351 à 1630
Hauteur de la margelle : 0
Remarques - Historique :

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel : 150
RM : Sol
Niveau eau / RM : Artésien m
au 09/07/1981

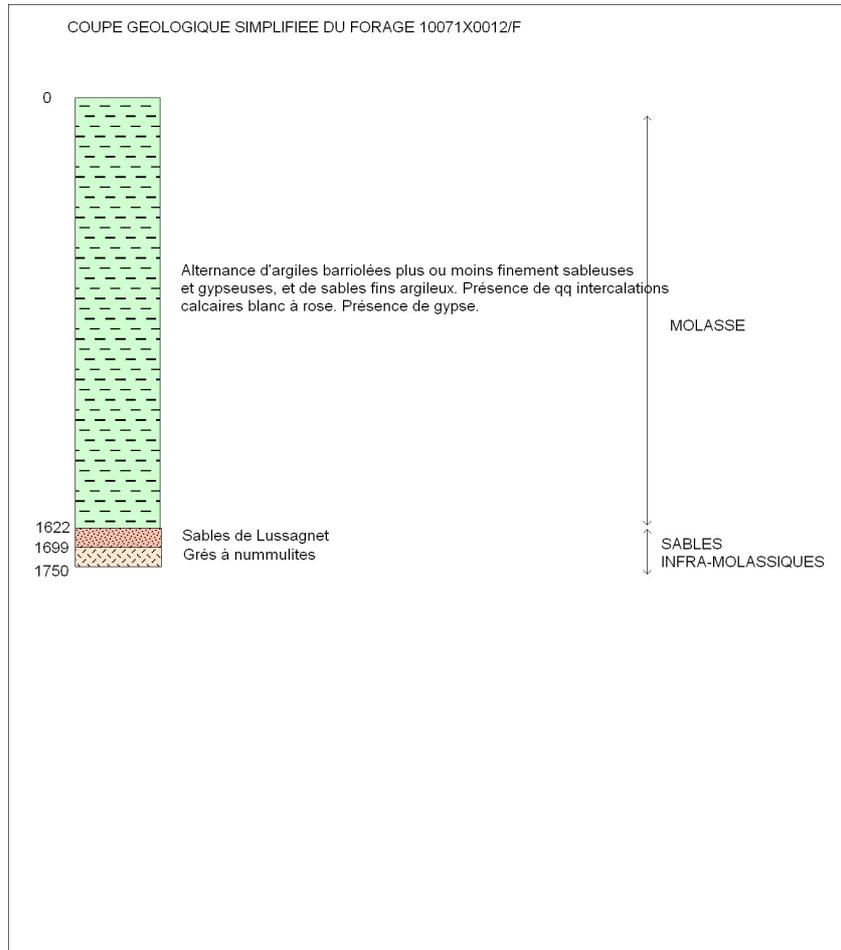
Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure : 57 °C
Température actuelle au fond de l'ouvrage : 0
Turbidité moyenne NTU : 0
Dureté moyenne : 0
Minéralisation moyenne : 0
Faciès physico-chimique :
Corrosion observée :
Particularité(s) chimique(s) : Eau dite "de bonne qualité"

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10071X0012/F

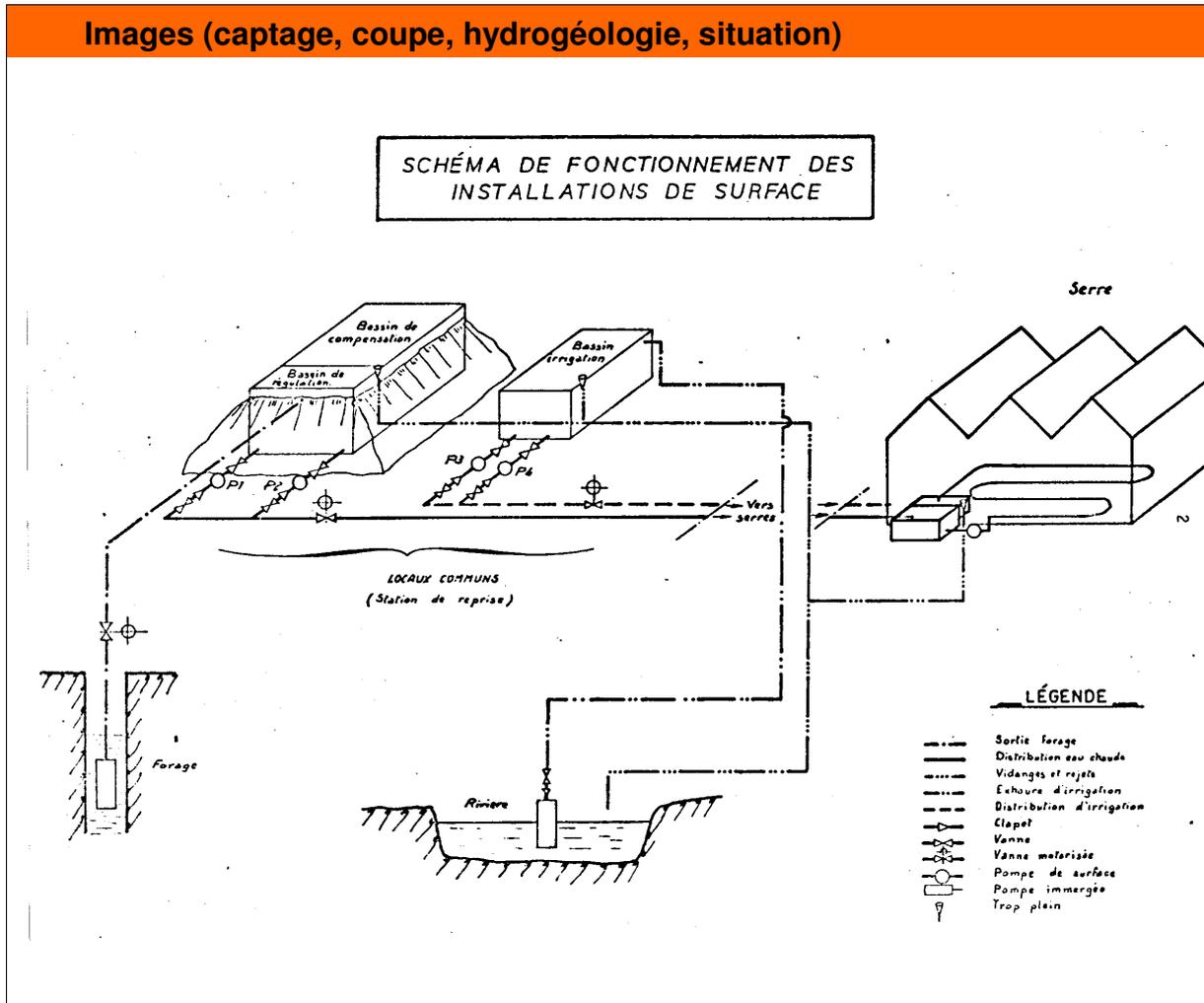
Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)



Opération de géothermie existante

Code BSS: 10071X0012/F

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)



Opération de géothermie existante

Code BSS: 10753X0049/F

Identification

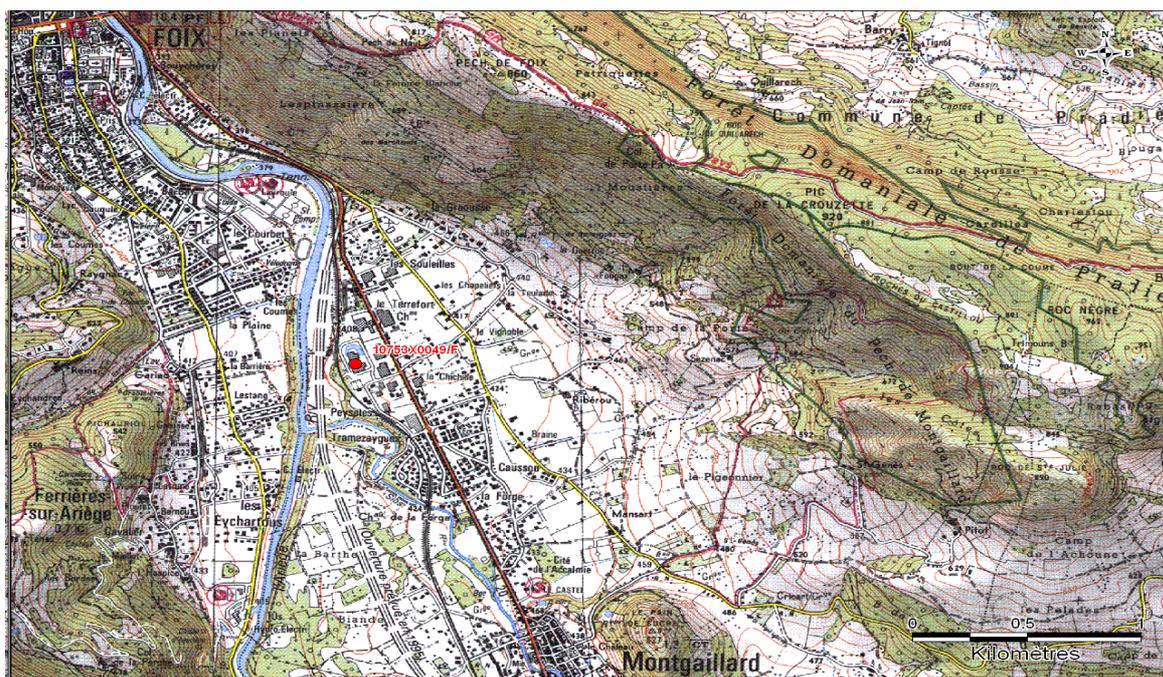
Lieu-dit : Peysales
Dénomination : CRCAM
Désignation : F
Commune : FOIX
Département : 09

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 541850
Y Lambert 3 Carto (m) : 3072250
Altitude (m) : 410



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10753X0049/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS : 10753X0049
Nature de l'ouvrage : Forage
Année de réalisation : 01/01/1982
Etat de l'ouvrage : ?
Profondeur de l'ouvrage : 50,4
Profondeur du haut de la crépine : 31,4
Profondeur du bas de la crépine : 49,4
Diamètre du tubage : 155 x 161 mm
Hauteur de la margelle : 0
Remarques - Historique :

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel : 0
RM : Sol
Niveau eau / RM : m
au

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure : 0
Température actuelle au fond de l'ouvrage : 0
Turbidité moyenne NTU : 0
Dureté moyenne : 0
Minéralisation moyenne : 0
Faciès physico-chimique :
Corrosion observée :
Particularité(s) chimique(s) :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10753X0049/F

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838A0421/F

Identification

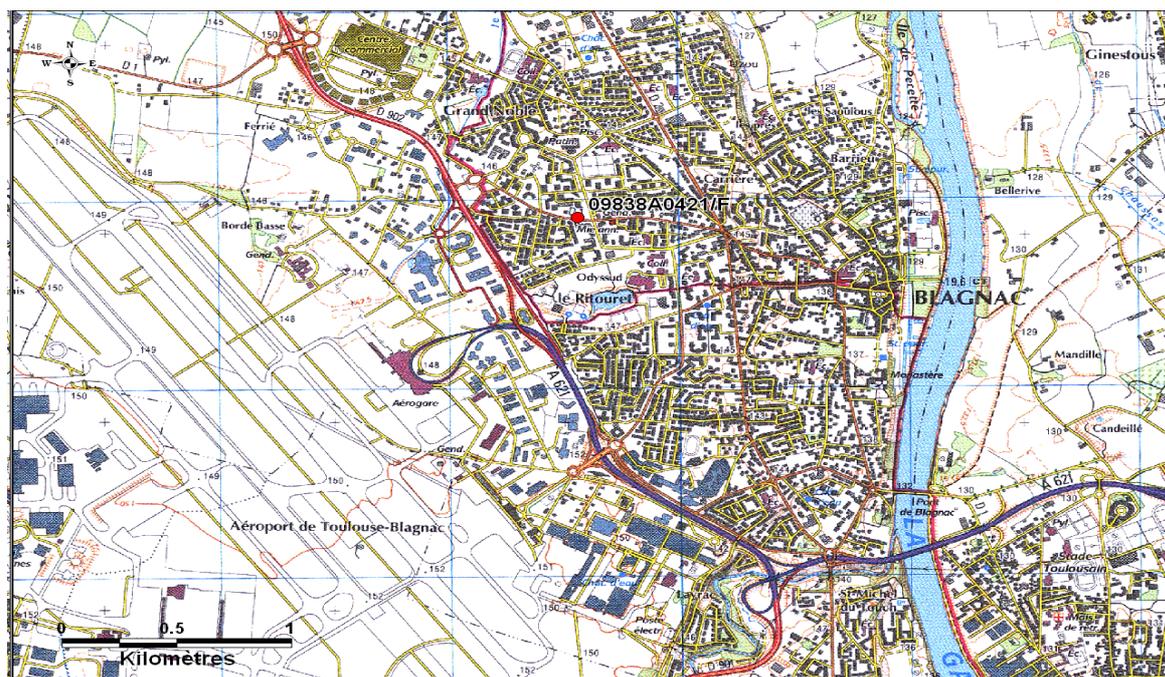
Lieu-dit : ZAC Ritouret
Dénomination : Géothermie Blagnac (GBL-A)
Désignation : F
Commune : BLAGNAC
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 523050
Y Lambert 3 Carto (m) : 3149090
Altitude (m) : 146,1



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Mairie de Blagnac
Place Jean-Louis Puig
31706 BLAGNAC CEDEX
Tél. : 0561717200

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838A0421/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	09838A0421
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	06/09/1976
Etat de l'ouvrage :	Exploité
Profondeur de l'ouvrage :	1637
Profondeur du haut de la crépine :	1546,4
Profondeur du bas de la crépine :	1572,7
Diamètre du tubage :	13"3/8 de 0 à 379,4 m et 9" 5/8 de 206 à 1548 m
Hauteur de la margelle :	0
Remarques - Historique :	1) Pompe immergée remplacée en déc 2001. Une PAC a été mise en place début 2002 pour augmenter le rendement. 2) Mise en place d'un suivi du débit, de la piézo et de la chimie; 3) Diagraphie effectuée le 03/09/03 : "bon état général des parties inspectées en conformité avec un ouvrage en exploitation depuis 25 ans. Légère diminution des diamètres entre 260 et 85 m liée à des dépôts incrustants de faible profondeur sous le plan d'eau.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	55
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	155 m
	au 22/12/2004

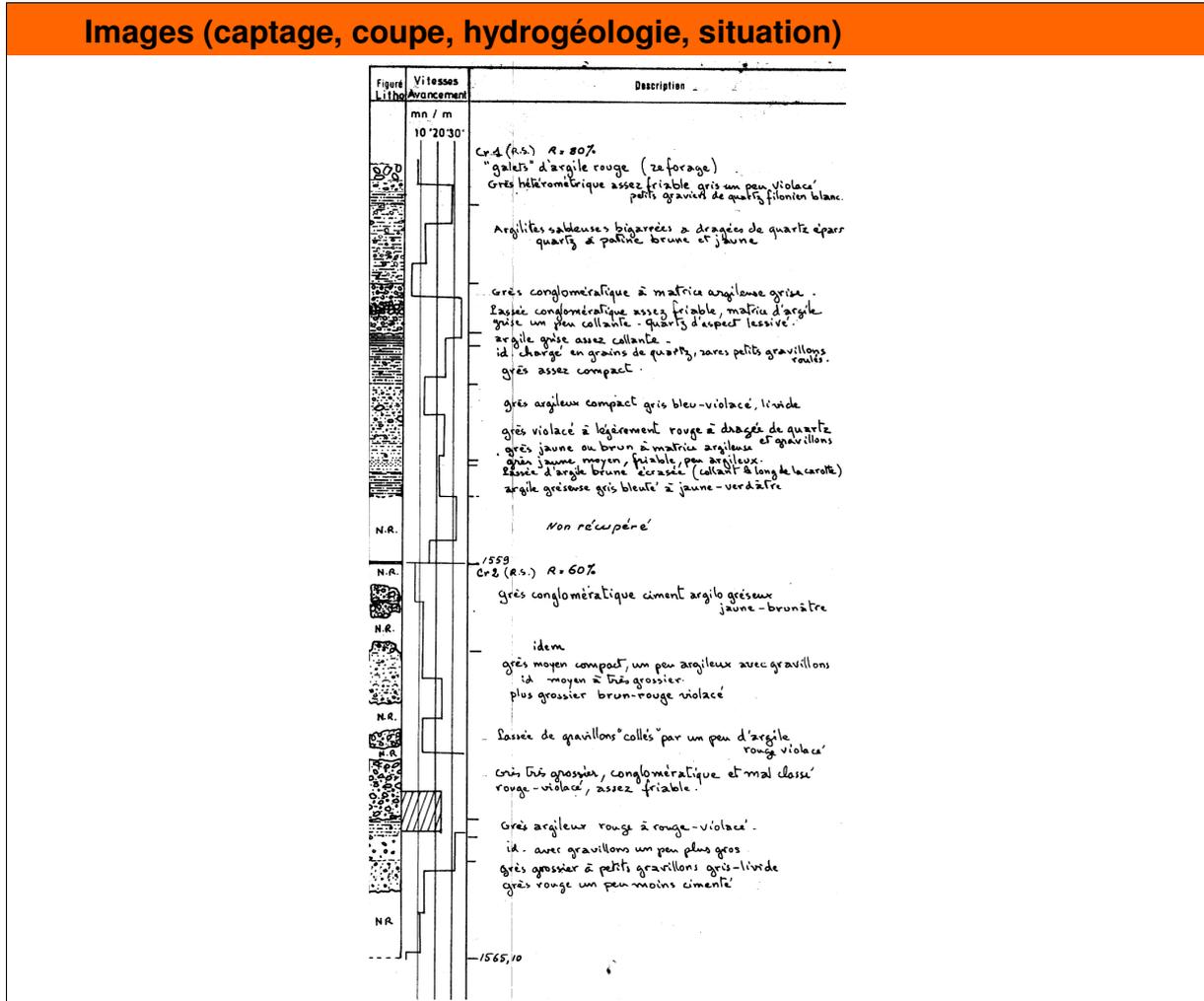
Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	Eté : 48 à 55 °C, Hiver 40 à 52 °C
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	7,5
Dureté moyenne :	7,6
Minéralisation moyenne :	895
Faciès physico-chimique :	Hyper chloruré sodique normal
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	Qualité de l'eau stable. Présence d'oxydes de fer. Possibilité de dépôts et de corrosion de l'acier avec les Cl- (nécessite inox 3165L ou PVC)

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838A0421/F

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

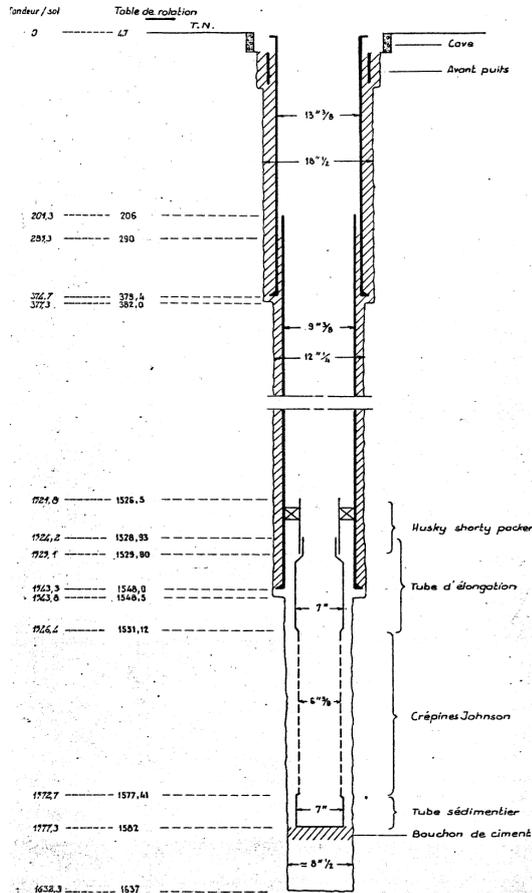


Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838A0421/F

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

COUPE SCHEMATIQUE DU FORAGE GBL-A D'APRES RAPPORTS E.L.F.



Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838B0203/F

Identification

Lieu-dit : Piscine de Blagnac ou Puits du Ramier
Dénomination : Forage de Blagnac utilisé pour la piscine
Désignation : F
Commune : BLAGNAC
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 524550
Y Lambert 3 Carto (m) : 3149080

Altitude (m) : 127



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Mairie de Blagnac
Place Jean-Louis Puig
31706 BLAGNAC CEDEX
Tél. : 0561717200

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838B0203/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	09838B0203
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	25/07/1967
Etat de l'ouvrage :	Exploité
Profondeur de l'ouvrage :	1493,5
Profondeur du haut de la crépine :	1444
Profondeur du bas de la crépine :	1470
Diamètre du tubage :	13" 3/8
Hauteur de la margelle :	0
Remarques - Historique :	En 1979, nécessité d'installer une pompe immergée de 15 m ³ /h car débit plus artésien (-30 m/sol). En avril 1999, changement de pompe. Dernier changement en de pompe en juillet 2001. aucune autre modification en projet.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	12
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	Artésien m au 25/07/1967

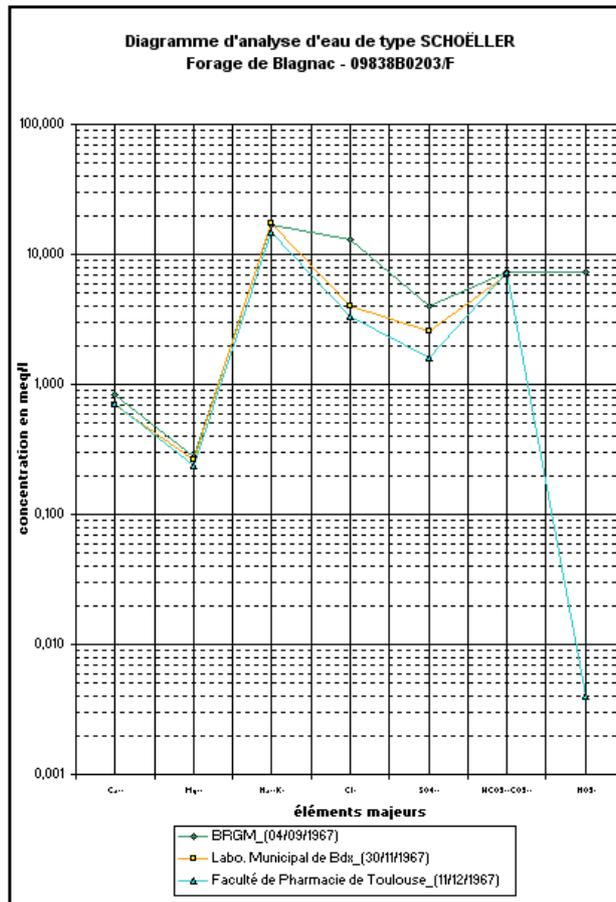
Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	54 °C
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	Hyper chloruré sodique normal
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	Physico-chimie très stable dans le temps. Eau riche en sulfures. Qualité de l'eau maîtrisée via une unité de désulfuration.

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838B0203/F

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)



Opération de géothermie existante

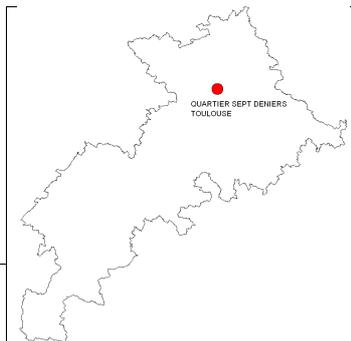
Code BSS: 09838B0519/F

Identification

Lieu-dit : Quartier des sept Deniers
Dénomination : Chemin de la Garonne
Désignation : F
Commune : TOULOUSE
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 524710
Y Lambert 3 Carto (m) : 3147130
Altitude (m) : 130



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Direction Régionale Sud-Ouest
SITECO

Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838B0519/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	09838B0519
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	15/01/1983
Etat de l'ouvrage :	?
Profondeur de l'ouvrage :	6,5
Profondeur du haut de la crépine :	0
Profondeur du bas de la crépine :	6,5
Diamètre du tubage :	?
Hauteur de la margelle :	0
Remarques - Historique :	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Création d'un puits atteignant 6,50 m de profondeur en janvier 1983, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Essais de pompage par paliers de débit compris entre 7 et 11 m ³ /h durant 3 heures en janvier 1983, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Estimation de la productivité du puits par le BRGM : pompage de longue durée du 01 au 04 février 1983 à un débit compris entre 6,5 et 7,5 m ³ /h, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Résultats : régime d'exploitation approprié d'environ 6 m ³ /h sans occasionner de rabattement de la nappe trop préjudiciable. Or le débit souhaité par le propriétaire pour le fonctionnement de la pompe à chaleur est de 10 m ³ /h.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	6
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	5 m
	au 15/01/1983

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	0
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838B0519/F

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

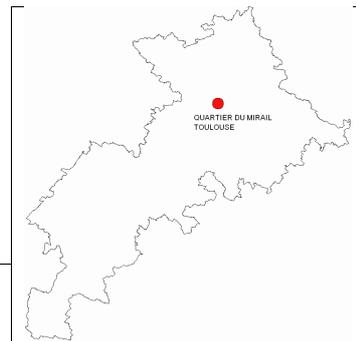
Code BSS: 09838C0576/F

Identification

Lieu-dit : Quartier du Mirail
Dénomination : Avenue du général Eisenhower
Désignation : F
Commune : TOULOUSE
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 523150
Y Lambert 3 Carto (m) : 3140980
Altitude (m) : 160



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838C0576/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	09838C0576
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	19/05/1988
Etat de l'ouvrage :	?
Profondeur de l'ouvrage :	9,2
Profondeur du haut de la crépine :	6,2
Profondeur du bas de la crépine :	9,2
Diamètre du tubage :	250 mm
Hauteur de la margelle :	0,5
Remarques - Historique :	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Projet de chauffer et de climatiser de nouveaux bureaux en construction au quartier du Mirail (Toulouse) à l'aide d'une pompe à chaleur de type eau-eau, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Estimation d'un débit de 40 m ³ /h nécessaire pour le projet, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Exécution d'un forage de reconnaissance pour s'assurer de la faisabilité du projet entre le 17 et le 19 mai 1988, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Réalisation d'un essai de pompage à l'aide d'une pompe de surface dont les résultats indiquent qu'il sera possible d'extraire à la nappe un débit maximum de 5 m ³ /h, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Faible épaisseur d'horizons aquifères, entraînant une forte diminution de productivité des forages, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Débit nettement insuffisant pour mettre en place un système de pompe à chaleur.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	5
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	5,9 m
	au 19/05/1988

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838C0576/F

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	16
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	600
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

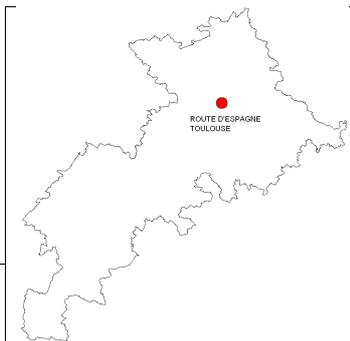
Code BSS: 09838D0517/F

Identification

Lieu-dit :
Dénomination : EDF - Route d'Espagne
Désignation : F
Commune : TOULOUSE
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 526370
Y Lambert 3 Carto (m) : 3141710
Altitude (m) : 143



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Restaurant d'entreprise CCAS
EDF
39 rte Espagne
31100 TOULOUSE
Tél. : 0561401800

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838D0517/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	09838D0517
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	28/09/1982
Etat de l'ouvrage :	Abandonné
Profondeur de l'ouvrage :	6,3
Profondeur du haut de la crépine :	3,3
Profondeur du bas de la crépine :	6,3
Diamètre du tubage :	200 mm
Hauteur de la margelle :	0
Remarques - Historique :	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Projet de chauffage de bâtiments du Centre de distribution Mixte de Toulouse Sud d'EDF, à l'aide d'une pompe à chaleur de type eau-eau, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Estimation d'un débit de 10 m ³ /h nécessaire pour le projet, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Exécution d'un forage de reconnaissance de 6,30 m de profondeur pour s'assurer de la faisabilité du projet entre le 27 et le 28 septembre 1982, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Réalisation d'essais de pompage par paliers de 1 heure dont les résultats indiquent qu'il sera possible d'extraire à la nappe un débit maximum de 5 m ³ /h en période de hautes eaux, <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Débit trop faible pour la mise en œuvre du projet par un seul ouvrage.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	5
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	8,9 m ? m au 28/09/1982

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838D0517/F

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	17
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

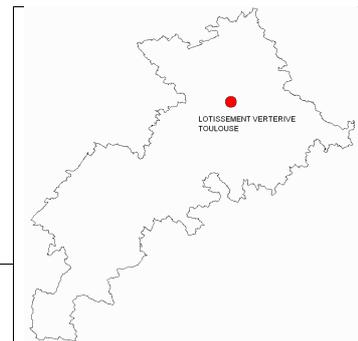
Code BSS: 09838D0527/F

Identification

Lieu-dit :
Dénomination : Lotissement de Vertrive (P1)
Désignation : F
Commune : TOULOUSE
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 526590
Y Lambert 3 Carto (m) : 3142270
Altitude (m) : 132



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838D0527/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS : 09838D0527

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation :

Etat de l'ouvrage : Abandonné

Profondeur de l'ouvrage : 2,9

Profondeur du haut de la crépine : 0

Profondeur du bas de la crépine : 0

Diamètre du tubage : 1000 mm

Hauteur de la margelle : 0

Remarques - Historique :

Projet concerne la réalisation de puits sur la berge de la Garonne avec pour objectif le chauffage du lotissement par un système de pompe à chaleur de type eau-eau,

2 premiers puits (P1 et P2) ont été réalisés à la profondeur de 2,90 m. Après développement, le débit maximum donné par chacun des 2 ouvrages n'excède pas 7,5 m³/h, soit au total un débit maximum de 15 m³/h. Ces faibles débits sont occasionnés par d'importants pertes de charge au travers des buses en ciment,

2 autres puits (P3 et P4), équipés de crépines ont été creusés à la même profondeur que précédemment. Les essais de pompages ont permis d'observer un débit maximum de 8 m³/h pour le P3 et de 30 m³/h pour le P4. Ces variations seraient dues au colmatage des berges par des dépôts de vases,

Des drains artificiels mettant en relation les puits P3 et P4 et la Garonne ont été rajoutés dans le but d'augmenter les débits d'exploitation. Celui du P3 est ainsi passé à 30 m³/h et celui du P4 à 90 m³/h.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel : 8

RM : Sol

Niveau eau / RM : 1,3 m

au

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09838D0527/F

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	0
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845A1215/F

Identification

Lieu-dit :

Dénomination : France Telecom - Rue Gabriel Péri (S1)

Désignation : F

Commune : TOULOUSE

Département : 31

Localisation

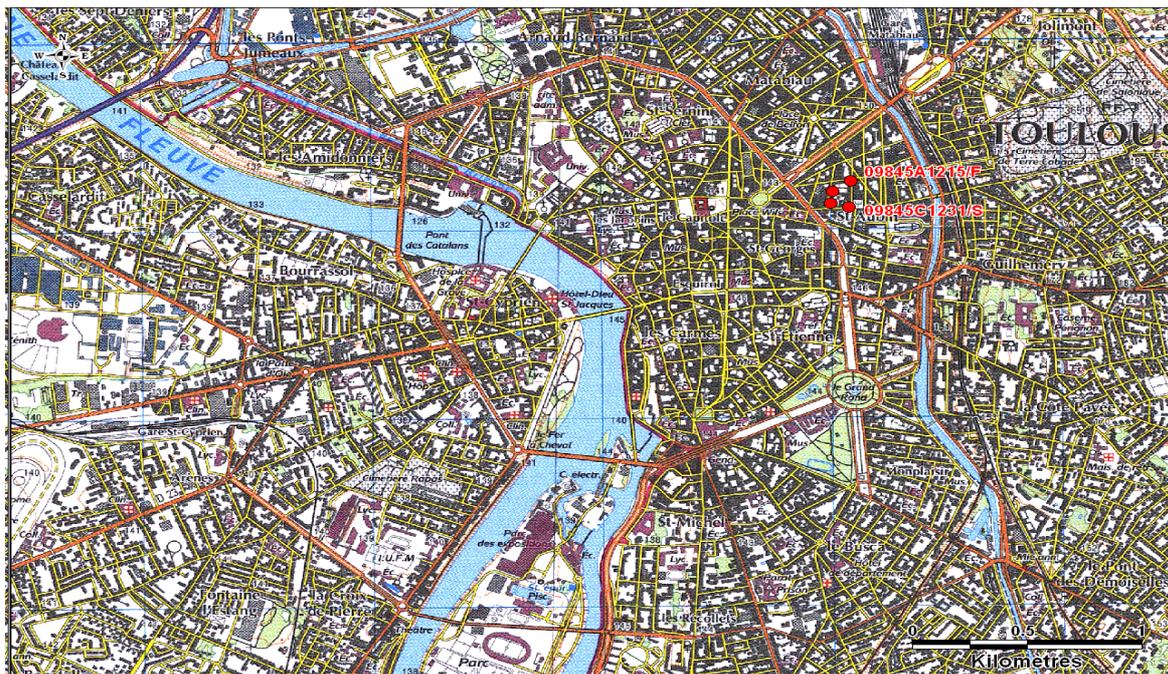
X Lambert 3 Carto (m) : 528610

Y Lambert 3 Carto (m) : 3145480

Altitude (m) : 145



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Agence Régionale de Toulouse

France Télécom

11 all Prés Roosevelt

31000 TOULOUSE

Tél. : 10 14

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845A1215/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	09845A1215
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	01/08/1988
Etat de l'ouvrage :	?
Profondeur de l'ouvrage :	8
Profondeur du haut de la crépine :	6
Profondeur du bas de la crépine :	7,6
Diamètre du tubage :	300 mm
Hauteur de la margelle :	0
Remarques - Historique :	<p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Projet de climatiser un immeuble situé rue Gabriel Péri (Toulouse) à partir d'un système de pompe à chaleur de type eau-eau,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Premier forage de reconnaissance réalisé en mai 1988 par le BRGM indiquait qu'il était possible d'obtenir un débit maximum de 6 m³/h avec une eau à 14,5°C,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Réalisation d'un autre forage de pompage et de 2 autres forages de réinjections en novembre 1988 dans le but de doubler le débit,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Les tests de pompages effectués sur les 3 ouvrages indiquent que le débit de pompage dans chacun des 2 ouvrages devra être limité à 5 m³/h afin d'éviter une interaction entre eux, soit 10 m³/h au total. Par ailleurs, un net changement de lithologie (graves plus argileux) a été observé pour les 2 autres forages induisant qu'il ne sera possible de réinjecter plus de 8 m³/h.</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Observation d'une qualité chimique médiocre de l'eau de la nappe en raison semble-t-il des infiltrations anormalement élevées d'eaux usées.</p>

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	6
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	3 m
	au 01/05/1988

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845A1215/F

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	0
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845C1129/S

Identification

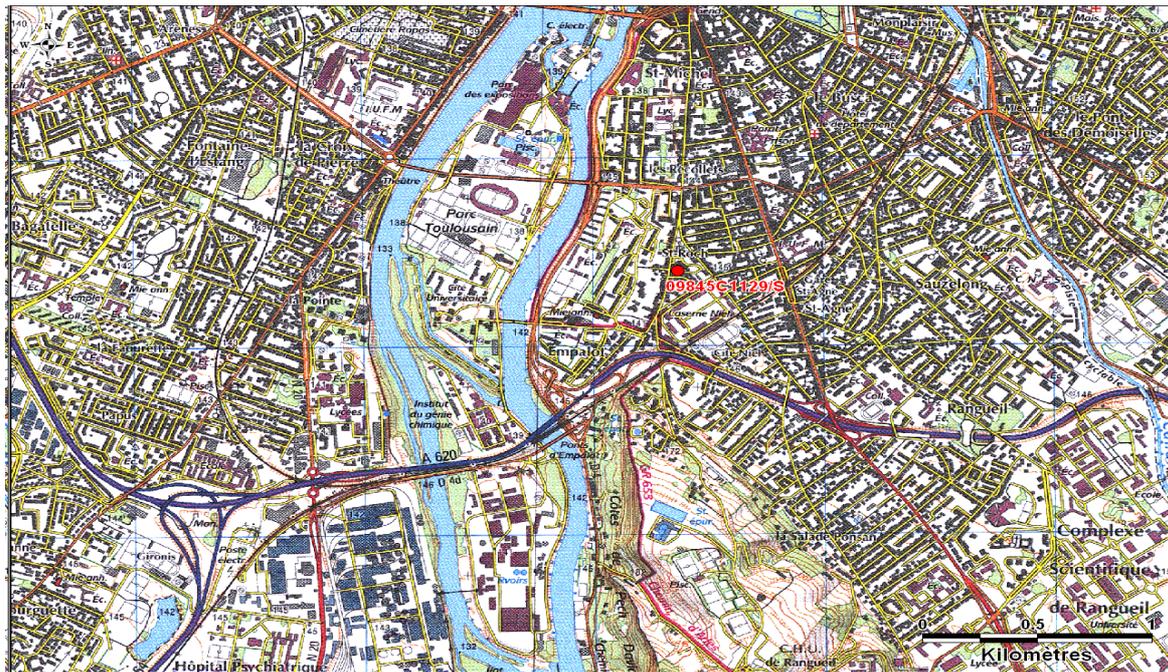
Lieu-dit :
Dénomination : AFBAG - 84 rue du Férétra (F2)
Désignation : S
Commune : TOULOUSE
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 527910
Y Lambert 3 Carto (m) : 3142620
Altitude (m) : 146



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Agence de l'Eau Adour-Garonne
84 rue Férétra
31000 TOULOUSE
Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845C1129/S

Caractéristiques techniques

Indice BSS : 09845C1129

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation : 01/01/1989

Etat de l'ouvrage : Exploité

Profondeur de l'ouvrage : 4,2

Profondeur du haut de la crépine : 0

Profondeur du bas de la crépine : 0

Diamètre du tubage : 100 mm

Hauteur de la margelle : 0,2

Remarques - Historique : A la demande de l'Agence financière de Bassin Adour-Garonne, une reconnaissance géotechnique préliminaire d'un terrain, destiné à la construction d'un bâtiment à usage de bureaux, a été effectuée en septembre 1982 par le SGR Midi-Pyrénées du BRGM. Un des objectifs était d'examiner les possibilités de réalisation d'un projet de pompe à chaleur.

A cet occasion, 2 piézomètres de respectivement 3,90 m et 4,20 m ont été réalisés, ils ont ainsi permis de mettre en évidence une très faible épaisseur de nappe dans les alluvions reconnues.

Compte tenu de la faible puissance de la nappe en présence, le projet d'utilisation de celle-ci pour des pompes à chaleur a été abandonné.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel : 5

RM : Sol

Niveau eau / RM : 140 m

au 01/09/1982

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure : 0

Température actuelle au fond de l'ouvrage : 0

Turbidité moyenne NTU : 0

Dureté moyenne : 0

Minéralisation moyenne : 0

Faciès physico-chimique :

Corrosion observée :

Particularité(s) chimique(s) :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845C1129/S

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845C1231/S

Identification

Lieu-dit :
Dénomination : Telecom - Rue Gabriel Péri (S2)
Désignation : S
Commune : TOULOUSE
Département : 31

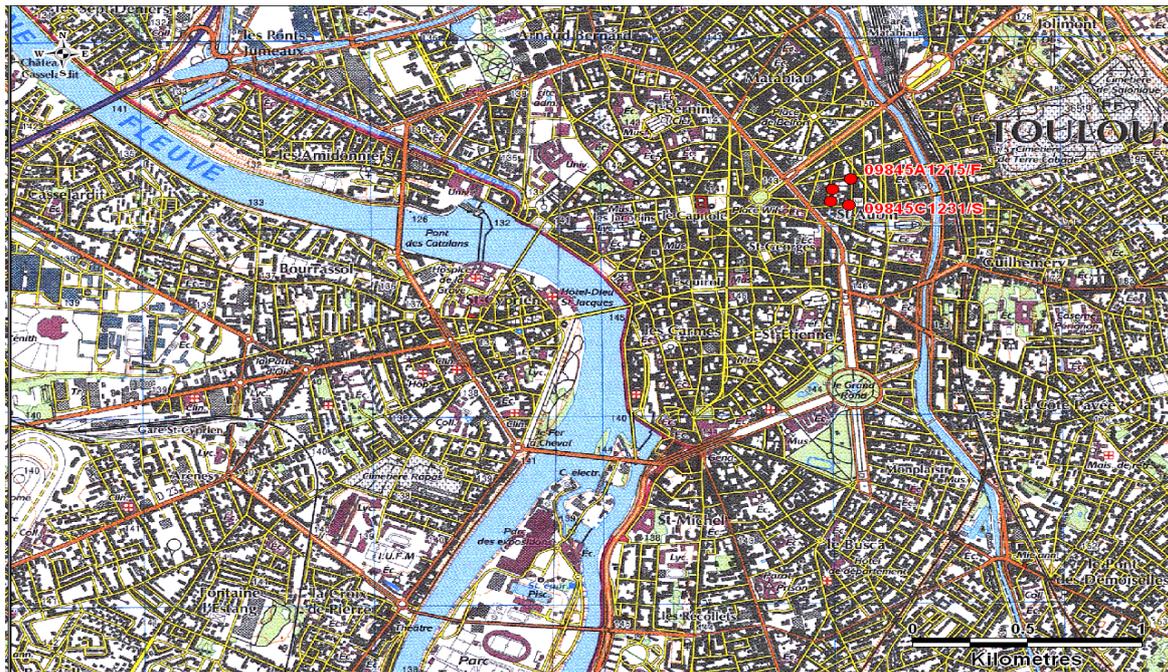
Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 528610
Y Lambert 3 Carto (m) : 3145480

Altitude (m) : 145



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Agence Régionale de Toulouse
France Télécom
11 all Prés Roosevelt
31000 TOULOUSE
Tél. : 10 14

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845C1231/S

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	09845C1231
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	01/11/1988
Etat de l'ouvrage :	?
Profondeur de l'ouvrage :	8,5
Profondeur du haut de la crépine :	6
Profondeur du bas de la crépine :	7,6
Diamètre du tubage :	300 mm de 0 à 1,20 m / 250 mm de 0 à 8,30 m
Hauteur de la margelle :	0
Remarques - Historique :	<p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Projet de climatiser un immeuble situé rue Gabriel Péri (Toulouse) à partir d'un système de pompe à chaleur de type eau-eau,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Premier forage de reconnaissance réalisé en mai 1988 par le BRGM indiquait qu'il était possible d'obtenir un débit maximum de 6 m³/h avec une eau à 14,5°C,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Réalisation d'un autre forage de pompage et de 2 autres forages de réinjections en novembre 1988 dans le but de doubler le débit,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Les tests de pompages effectués sur les 3 ouvrages indiquent que le débit de pompage dans chacun des 2 ouvrages devra être limité à 5 m³/h afin d'éviter une interaction entre eux, soit 10 m³/h au total. Par ailleurs, un net changement de lithologie (graves plus argileux) a été observé pour les 2 autres forages induisant qu'il ne sera possible de réinjecter plus de 8 m³/h.</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Observation d'une qualité chimique médiocre de l'eau de la nappe en raison semble-t-il des infiltrations anormalement élevées d'eaux usés.</p>

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	6
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	3 m
	au 01/11/1988

Opération de géothermie existante

Code BSS: 09845C1231/S

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	0
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10097X0264/S

Identification

Lieu-dit :
Dénomination : HLM - avenue de l'Europe (S2)
Désignation : S
Commune : MURET
Département : 31

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 518630
Y Lambert 3 Carto (m) : 3130490
Altitude (m) : 168



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Société Muretaine d'Aménagement Immobilier

Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10097X0264/S

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	10097X0264
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	17/07/1981
Etat de l'ouvrage :	Abandonné
Profondeur de l'ouvrage :	6
Profondeur du haut de la crépine :	1,3
Profondeur du bas de la crépine :	4,5
Diamètre du tubage :	400 mm
Hauteur de la margelle :	0
Remarques - Historique :	<p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Projet de mise en place de pompe à chaleur de type eau-eau en relèvement de chaudières pour 3 ensembles immobiliers sur la commune de Muret,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>3 forages ont été exécutés du 15 au 17 juillet 1981 à proximité immédiate de l'immeuble,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Le premier d'une profondeur de 6,60 m a été rebouché sans pompage d'essais en raison de ces très faibles possibilités (légère venue d'eau à 3,90 m),</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Le second, d'une même profondeur, a été tubé, équipé de crépines. Le pompage d'essai effectué a seulement permis d'obtenir un débit de 1,2 m³/h,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/>Le troisième, profond de 5,60 m a été rebouché pour les mêmes raisons que le premier à savoir de très faibles possibilités (légère venue d'eau entre 5,15 et 5,30 m)</p>

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	1
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	4 m
	au 17/07/1981

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10097X0264/S

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	0
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	0
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10315X0074/F

Identification

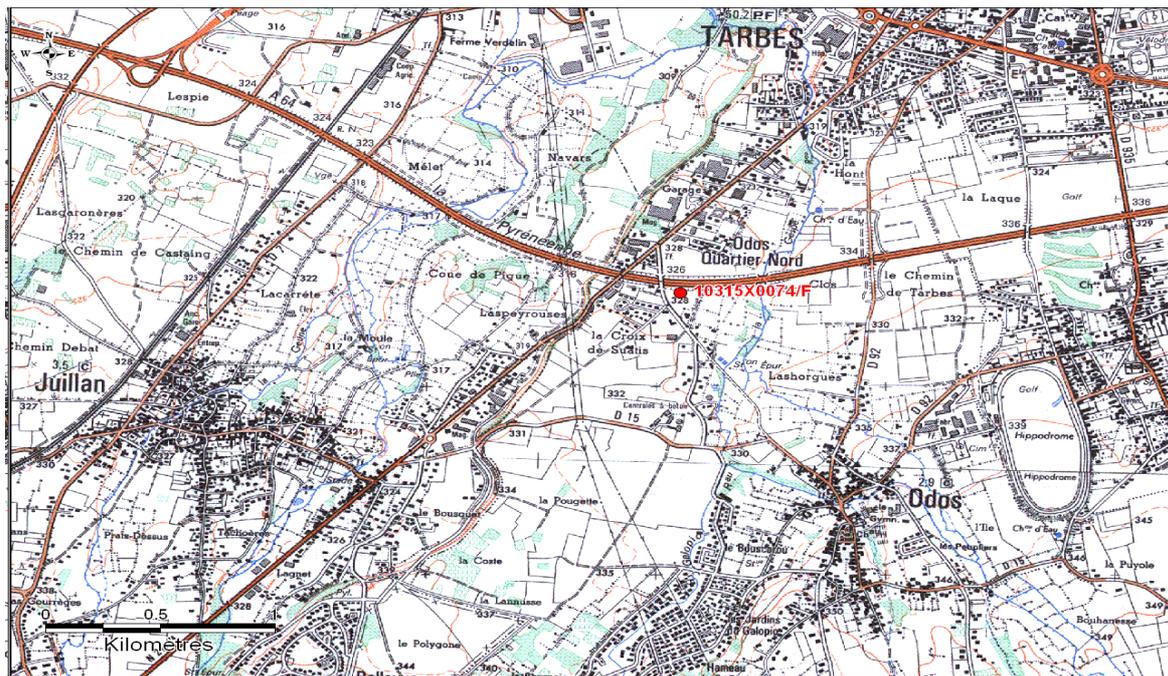
Lieu-dit :
Dénomination : Odos Quartier Nord
Désignation : F
Commune : ODOS
Département : 65

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 414100
Y Lambert 3 Carto (m) : 3103500
Altitude (m) : 328



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

Tél. :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10315X0074/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS : 10315X0074
Nature de l'ouvrage : Forage
Année de réalisation :
Etat de l'ouvrage :
Profondeur de l'ouvrage : 15,3
Profondeur du haut de la crépine : 11,8
Profondeur du bas de la crépine : 15,3
Diamètre du tubage : 170 mm
Hauteur de la margelle : 0
Remarques - Historique : Réalisation d'un forage en novembre 1983 à 15,30 m de profondeur, captant la nappe alluviale de l'Adour, dont l'objectif est de permettre le chauffage et la climatisation de l'habitation d'un particulier à partir d'une pompe à chaleur de type eau-eau.

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel : 0
RM : Sol
Niveau eau / RM : 12,1 m
au 01/11/1983

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure : 0
Température actuelle au fond de l'ouvrage : 0
Turbidité moyenne NTU : 0
Dureté moyenne : 0
Minéralisation moyenne : 0
Faciès physico-chimique :
Corrosion observée :
Particularité(s) chimique(s) :

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10315X0074/F

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

AUCUNE IMAGE
DISPONIBLE

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10315X0108/F

Identification

Lieu-dit :

Dénomination : Rue Jean Larcher - Section AW - Parcelle 526

Désignation : F

Commune : TARBES

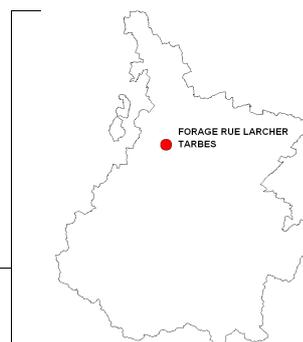
Département : 65

Localisation

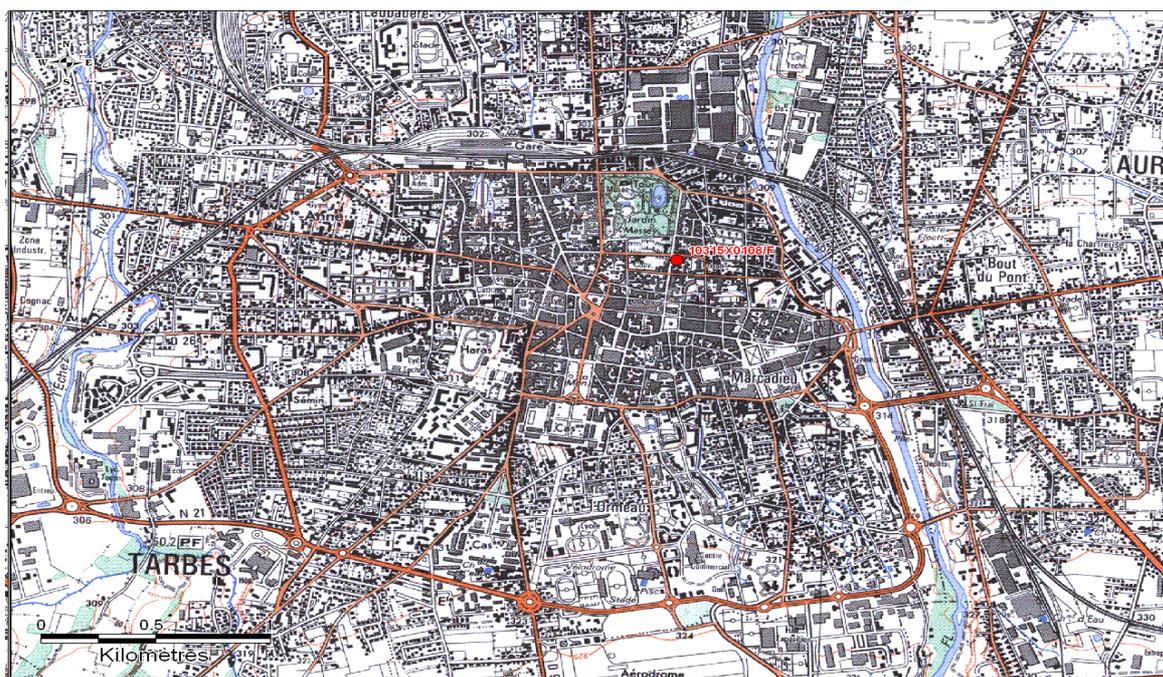
X Lambert 3 Carto (m) : 416420

Y Lambert 3 Carto (m) : 3106470

Altitude (m) : 310



Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:

SAE Immobilier Pyrénées
29 r Blaise Pascal
65000 TARBES
Tél. : 0562444400

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10315X0108/F

Caractéristiques techniques

Indice BSS :	10315X0108
Nature de l'ouvrage :	Forage
Année de réalisation :	01/04/1997
Etat de l'ouvrage :	Exploité
Profondeur de l'ouvrage :	18,9
Profondeur du haut de la crépine :	8,64
Profondeur du bas de la crépine :	17,49
Diamètre du tubage :	406 mm de + 0,47 à -4 m - 230/250 mm de +0,86
Hauteur de la margelle :	0,47
Remarques - Historique :	<p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> Réalisation d'un forage de production en avril 1997 d'environ 19 m de profondeur, captant la nappe alluviale de l'Adour dans le but d'équiper une maison de retraite sur la commune de Tarbes d'un système de chauffage et de climatisation à partir d'une pompe à chaleur de type eau-eau,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> Mise en œuvre d'un essai de pompage de 6 paliers de courte durée, suivi d'une essai de longue durée de 48 heures ayant permis de déterminer un débit critique de 20 m³/h et une transmissivité d'environ 10⁻³ m²/s,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> Analyse des éléments majeurs de l'eau du forage destinée à la caractériser d'un point de vue hydrochimique,</p> <p><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/> Projet prévoit la création d'un puits de ré-injection destiné à restituer à la nappe la totalité de l'eau prélevée.</p>

Géologie et hydrogéologie

Débit d'exploitation actuel :	15
RM :	Sol
Niveau eau / RM :	9,59 m
	au 01/10/1997

Opération de géothermie existante

Code BSS: 10315X0108/F

Caractéristiques hydrochimiques

Température actuelle à l'exhaure :	13 à 14 °C
Température actuelle au fond de l'ouvrage :	0
Turbidité moyenne NTU :	0
Dureté moyenne :	14,5
Minéralisation moyenne :	0
Faciès physico-chimique :	
Corrosion observée :	<input type="checkbox"/>
Particularité(s) chimique(s) :	

Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)

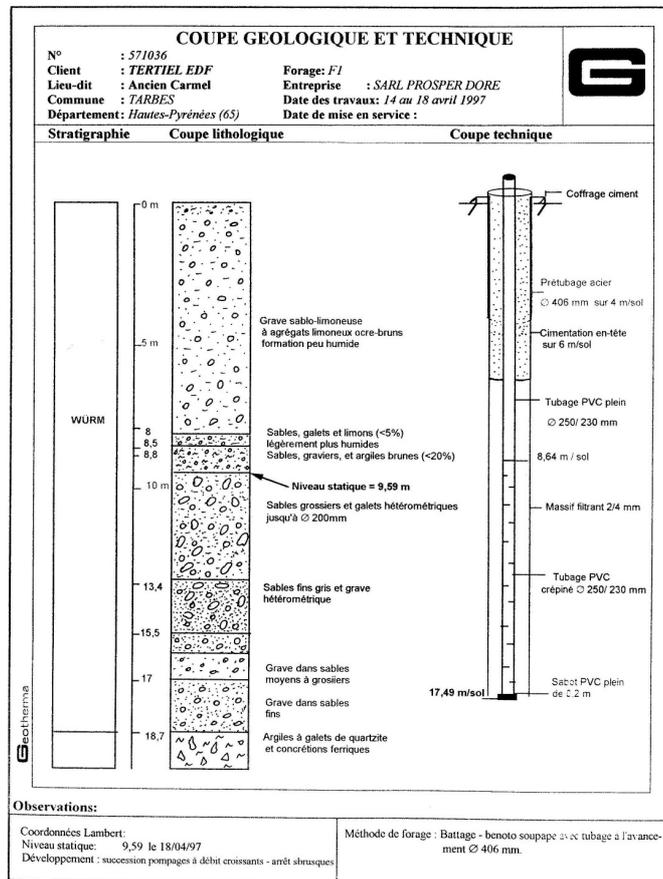


Figure 3 : Coupe lithologique et technique du forage F1.

Annexe 6

Tableau des sources et forages d'eau chaude non exploités

Sources Chaudes non exploitées

Code_BSS Source	X_L3	Y_L3	Z sol (m)	Lieu-dit	nom commune	Dépt
08105X0011/HY	558400	3287730	128	SOURCE MINERALE DE BUSQUEILLE	Prudhomat	46
08126X0001/HY	624870	3282930	630	SOURCE MINERALE LES BAINS	Taussac	12
08126X0002/HY	624870	3282900	630	SOURCE MINERALE DE COMBELLOU	Taussac	12
08126X0006/HY	624920	3282850	630	POUCHICOU ET BERTHEGENE	Taussac	12
08126X0006/HYbis	0	0	0	Pouchicou	Taussac	12
08827X0019/HY	575130	3228870	270	SOURCE NOTRE-DAME DES TREIZE PIERRES	Villefrance de Rouergue	12
09065X0005/HY	558080	3203928	123	SOURCE DE L'EGLISE	Féneyrols	82
09065X0005/Hybis	0	0	0	Bombouzol n°2	Féneyrols	82
09338X0003/HY	611670	3183240	240	SOURCE ASSIER	TREBAS	81
09338X0004/HY	611670	3183240	240	SOURCE SAINT-ROCH	TREBAS	81
09546X0020/HY	451240	3167050	123	SOURCE FONTAINE CHAUDE	Lavardens	32
09611X0001/HY	646790	3170780	450	LA BUVETTE	Gissac	12
09611X0002/HY	645670	3170400	400	SOURCE MADELEINE	Camares	12
09611X0002/Hybis	0	0	0	Les Princesses	Camares	12
09611X0002/Hyter	0	0	0	Les Roses	Camares	12
09615X0001/HY	649750	3169690	445	BAINS DE SYLVANES - SOURCES DES MOINES ET SOURCE DE LA POSTE	Sylvanes	12
09615X0002/HY	645560	3170070	400	SOLIER	Camares	12
10336X0020/HY	481180	3105260	293	SOURCE BARTETE	Boussan	31
10534X0014/HY	437350	3093750	485	SOURCE OUNT-DE-L'OULO	LAGRANGE	65
10547X0079/HY	459960	3082300	450	BARBAZAN SOURCE N. 1 PRINCIPALE	Barbazan	31
10555X0041/HY	470800	3084580	372	GRANDE SOURCE SALOMON	Encausse les Thermes	31
10555X0101/HY	470090	3084610	372	SOURCE D'ARGUT 2-STATION D'ENCAUSSE LES THERMES	Encausse les Thermes	31
10556X0006/HY	476560	3085380	373	SAINT-GUILHEM EX-GANTIES (SOURCE DE GANTIES)	Ganties	31
10722X0023/HY	451080	3072175	790	SOURCE DES NERFS CHALETS SAINT-NEREE	Ferrère	65
10722X0023/Hybis	0	0	0	Ferugineuse du Sang	Ferrère	65
10723X0006/HY	460200	3075860	469,5	SOURCE SAINTE-MARIE OU LA-LANETTE	SIRADAN	65
10737X0004/HY	486820	3064900	740	SOURCE COURTHEIL OU DU-HAUT - LE PRADEAU	Sentein	09
10742X0022/HY	505850	3079050	430	SCE DES BAINS OU GRDE SCE	Montjoie-En-Cousserans	09
10742X0023/HY	505860	3079100	430	SCE LOUISE	Montjoie-En-Cousserans	09
10742X0038/HY	505900	3079040	440	SOURCE DES YEUX AUDINAC-LES-BAINS	Montjoie-En-Cousserans	09
10746X0080/HY	507160	3063240	510	SCE DE SEIX	Seix	09
10762X0062/HY	564900	3072100	437	FONTCIRGUE - SOURCE LA BUVETTE	LA BASTIDE SUR L'HERS	09
10824X0009/HY	406520	3057830	1550	RIBERE DE BUE	GEDRE	65
10888X0004/HY	582300	3046800	900	SOURCE BARAQUETTE	Carcanières	09
10888X0005/HY	582300	3046800	900	SOURCE CAMPOUSSY	Carcanières	09
10888X0006/HY	582300	3046800	900	SOURCE MYS	Carcanières	09
10888X0007/HY	582300	3046800	900	SOURCE LA-VIERGE	Carcanières	09

Atlas sur la géothermie très basse et basse énergie de la région Midi-Pyrénées

10888X0008/HY	579550	3049100	810	SOURCE CONDAMY	ROUZE	09
10888X0009/HY	579550	3049100	810	SOURCE FOUNT D'ASLAYS OU SOURCE DES PLAIES	ROUZE	09
10888X0010/HY	579550	3049100	810	SOURCE SAINTE-GENEVIEVE	ROUZE	09
10888X0011/HY	579550	3049100	810	SOURCE MARIE	ROUZE	09
10888X0019	582200	3046880	850	SOURCE REGINE	Carcanières	09
10888X0020	581850	3047220	875	SOURCE ESPARRE	Carcanières	09
10888X0021	582190	3046900	850	SOURCE BAIN FORT	Carcanières	09
10941X0020/HY	560200	3039240	1290	SCE DES BAINS	Mérens Les Vals	09
10941X0020/Hybis	0	0	0	Moussolino	Mérens Les Vals	09
10941X0020/Hyter	0	0	0	Mouchard-Perruquet	Mérens Les Vals	09
10941X0021/HY	557800	3035000	134	SOURCES DE SAILLENS (SOURCE DU ROCHER)	Mérens Les Vals	09
inconnu1	0	0	0	Patché ou Supérieure	Mérens Les Vals	09
inconnu10	0	0	0	Horte	Bassoues	32
inconnu11	0	0	0	Crabot	Blousson-Sérian	32
inconnu12	0	0	0	Luro	Blousson-Sérian	32
inconnu13	0	0	0	Storts	Ligardes	32
inconnu14	0	0	0	Saint Pierre	Ramouzens	32
inconnu15	0	0	0	Baicourix	Labarthe-Rivière	31
inconnu16	0	0	0	Jouvence	Labarthe-Rivière	31
inconnu18	0	0	0	Hount Conquette	Arreau	65
inconnu19	0	0	0	La Buvette	CADEAC	65
inconnu2	0	0	0	Lagarde n°2	BIO	46
inconnu20	0	0	0	Principale	CADEAC	65
inconnu21	0	0	0	Doubaou	Germis sur l'Oussouet	65
inconnu22	0	0	0	Hount des cas	La Barthe de Neste	65
inconnu23	0	0	0	Principale	La Barthe de Neste	65
inconnu24	0	0	0	Le Lac	SIRADAN	65
inconnu25	0	0	0	Sainte Marie	SIRADAN	65
inconnu26	0	0	0	Barbazan	Villelongue	65
inconnu27	0	0	0	Pointis	Villelongue	65
inconnu28	0	0	0	La forêt	VAOUR	81
inconnu29	0	0	0	Saint Marie	TREBAS	81
inconnu3	0	0	0		Rocamadour	46
inconnu30	0	0	0	Lagarde n°1	BIO	46
inconnu31	0	0	0	Lagarde n°2	BIO	46
inconnu32	0	0	0	Autres sources	BIO	46
inconnu33	0	0	0	Bonbouzol n°1	Féneyrols	82
inconnu34	0	0	0	Source de St Fris	Bassoues	32
inconnu35	0	0	0	Saint Victoria	ROUZE	09
inconnu36	0	0	0	Source du Mich	Sentein	09
inconnu37	0	0	0	Source du Fer	Sentein	09
inconnu4	0	0	0	Saint Félix ou Sanitas	Saint Michel de Bannières	46
inconnu5	0	0	0	Les Bains	Gissac	12
inconnu6	0	0	0	Bosc	Gissac	12
inconnu7	0	0	0	De Fonclare	Sylvanes	12
inconnu9	0	0	0	Les Cariettes	Villefrance de Rouergue	12

Forages d'eau chaude non exploités

Code_BSS Forage	X_L3	Y_L3	Z sol (m)	Lieu-dit	nom commune	Dépt
09546X0010/F	451280	3167130	124	FONTAINE CHAUDE Forage n°3	Cezan	32
09546X0009/F	451200	3167000	124	FONTAINE CHAUDE Forage n°2	Lavardens	32
10547X0087/F	459948	3082296	450	THERMES DE BARBAZAN - F2	Barbazan	31
10547X0073/F	459960	3082400	450	STATION THERMALE DE BARBAZAN BB1	Barbazan	31
10555X0040/F	470360	3084400	396	CAPTAGES D'EAU DITS SOURCES LAVERAN AMONT ET AVAM	Encausse les Thermes	31
10097X0015/F	516640	3124960	179,6	PUITS ET SOURCE DE MONTEGUT SEGLA (P2)	Muret	31
10555X0040/Fbis	0	0	0	Lavéran (forage géophysique)	Encausse les Thermes	31
10547X0087/Fbis	0	0	0	Forage F2	Barbazan	31
inconnu17	0	0	0	Puits n°2	Muret	31

Annexe 7

Modèle de questionnaire pour les SCNE

A l'attention de Monsieur/Madame le Maire
1 place Mairie
65240 Arreau

REF n°450-2006/MG

Objet : Questionnaire sur les sources et forages thermo-minéraux non exploités de votre commune

Toulouse, le 30 août 2006,

Monsieur, Madame le Maire,

Le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) – Service Géologique Régional de Midi-Pyrénées réalise actuellement une étude visant à réaliser un outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et moyenne énergie (nappes alluviales et thermalisme) dans la région Midi-Pyrénées. Ce projet, est mené à l'initiative et avec l'appui du Conseil Régional de Midi-Pyrénées et de l'ADEME.

Dans ce cadre, nous menons une enquête sur des sources ou forages thermo-minéraux non exploités (abandonnés, ou jamais captés), identifiés lors de précédents recensements effectués par nos services.

Des points d'eau chaude ont été identifiés sur votre commune, et nous souhaiterions pouvoir disposer d'informations permettant d'évaluer leur potentiel de valorisation géothermique. Vous trouverez donc ci-joint un questionnaire à remplir et à retourner à l'adresse indiquée à la fin du document. Suite à votre réponse, nous serons éventuellement amenés à vous demander des compléments d'information par contact téléphonique et si besoin, à organiser une visite sur site.

Vous en souhaitant bonne réception, nous vous prions de croire, Monsieur, Madame le Maire, en l'expression de nos sentiments les meilleurs.

**Le Directeur du Service Géologique
Régional Midi-Pyrénées**

Ph. Dutartre

P.J. : Un questionnaire sur les sources/forages thermo-minéraux non exploités
Une carte de localisation des points d'eau répertoriés par nos services

QUESTIONNAIRES SUR LES SOURCES/FORAGES THERMO-MINERAUX NON EXPLOITES

Merci d'entourer les bonnes réponses (les choix correspondent aux cases grisées) et de remplir les cases vides, quand cela est possible

I) DONNEES GENERALE SUR LES POINTS D'EAU

SOURCES CHAUDES NON EXPLOITEES

Code BSS Source: <input style="width: 100px;" type="text" value="inconnu18"/>									
X Lambert 3 Carto (m) :	<input style="width: 100px;" type="text" value="0"/>								
Y Lambert 3 Carto (m) :	<input style="width: 100px;" type="text" value="0"/>								
Altitude (m):	<input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>								
Lieu-dit/Dénomination : <input style="width: 90%; border: none;" type="text" value="Hount Conquette"/>									
Source :	<input checked="" type="checkbox"/> PUBLIQUE <input type="checkbox"/> PRIVEE Nom propriétaire : <input style="width: 150px;" type="text"/>								
T°C moyenne (°C):	<input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>								
C à 20°C moy en micr	<input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>								
pH mov	<input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>								
Débit min obs (l/s)	<input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>								
Débit max obs (l/s)	<input style="width: 50px;" type="text" value="0"/>								
Accessibilité de l'ouvrage :	<input checked="" type="checkbox"/> Facile <input type="checkbox"/> Difficile Commentaires : <input style="width: 150px;" type="text"/>								
Présence de données sur une exploitation antérieure ?	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Propriétaire de la donnée: <input style="width: 150px;" type="text"/>								
Problèmes de qualité rencontrés : <input style="width: 250px;" type="text"/>									
Remarques: <input style="width: 500px; height: 30px;" type="text"/>									
Faciès physico-chimique de l'eau :	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Eaux bicarbonatées :</td> <td><input type="checkbox"/> Eaux sulfurées</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Eaux carbo-gazeuses</td> <td><input type="checkbox"/> Eaux sulfatées</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Eaux chlorurées</td> <td><input type="checkbox"/> Inconnu</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Eaux ferrugineuses</td> <td></td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/> Eaux bicarbonatées :	<input type="checkbox"/> Eaux sulfurées	<input type="checkbox"/> Eaux carbo-gazeuses	<input type="checkbox"/> Eaux sulfatées	<input type="checkbox"/> Eaux chlorurées	<input type="checkbox"/> Inconnu	<input type="checkbox"/> Eaux ferrugineuses	
<input checked="" type="checkbox"/> Eaux bicarbonatées :	<input type="checkbox"/> Eaux sulfurées								
<input type="checkbox"/> Eaux carbo-gazeuses	<input type="checkbox"/> Eaux sulfatées								
<input type="checkbox"/> Eaux chlorurées	<input type="checkbox"/> Inconnu								
<input type="checkbox"/> Eaux ferrugineuses									

FORAGES D'EAU CHAUDE NON EXPLOITE

II) URBANISME/POTENTIEL DE VALORISATION DES EAUX CHAUDES

Existe-t-il un réseau de chaleur sur la commune ?

OUI

NON

Localisation :

Présence de bâtiments collectifs sur la commune ?

OUI

NON

Si oui, quels types de bâtiments ? :

	Privé	Public
Etablissement hospitalier		
Etablissement scolaire		
Mairie – Office de Tourisme		
Musée – Salle des Fêtes- Maison de retraite ...		
Piscine		
Logements collectifs		
Hôtels		
Autres (à préciser)		

Dans la mesure du possible, merci de bien vouloir joindre des plans (localisation, installation) ou autres documents utiles (résultats d'analyse, chroniques de débit, chroniques piézométriques etc)

QUESTIONNAIRE A RENVOYER A :
BRGM - Service Géologique Régional Midi-Pyrénées
3, rue Marie Curie Bât ARUBA BP49
31527 RAMONVILLE ST AGNE CEDE

Annexe 8

Fiches descriptive des SCNE issue de la base de données

Exemple de la source de Notre Dame des Treize Pierres à Villefranche du Rouergues (12)

Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie - [ETAT_SOURCES_1_PAR_1 : État]

Source d'eau chaude non exploitée
Code BSS: 08827X0019/HY

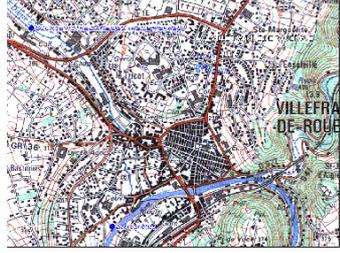
Identification

Lieu-dit : SOURCE NOTRE-DAME DES TREIZE PIERRES
Dénomination :
Désignation : HY
Commune : Villefrance de Rouergue
Département : 12

Localisation

X Lambert 3 Carto (m) : 574 940,00
Y Lambert 3 Carto (m) : 3228956
Altitude (m) : 270

Plan de localisation



Généralités

Propriétaire:
Tél.:

Caractéristiques techniques

ACTES ADMINISTRATIFS :

Source privée ou publique : Publique
Type de captage :
Cause d'abandon : Inconnue
Remarques:

Géologie et hydrogéologie

Débit naturel minimal observé :
Débit naturel maximal observé : 7
Période d'étiage observée :
Période de crue observée : avril
Accessibilité à l'émergence : Facile
Géologie à l'émergence :
Géologie du cisement :
Code du système aquifère : 559b
Nom du système aquifère : FIO EAC TERRASSON / SUD

Page 1 sur 7

Page 2 sur 7

Page: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie - [ETAT_SOURCES_1_PAR_1 : État]

Source d'eau chaude non exploitée
Code BSS: 08827X0019/HY

Caractéristiques hydrochimiques

Température moyenne : 15,2 C à 20°C : 2400
pH moyen : 6,9 Minéralisation_moy :
Présence de données d'exploitation antérieures :
Propriétaire des données :
Problèmes de qualité rencontrés :
Faciès physico-chimique :
Analyses renseignées (actes administratifs) :

Date	Remarque	T°C	pH	C ₃₋₂₀	Cl ₃₋₂₀	SO ₄	NO ₃	NO ₂	Cl	F	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Al	Cu	Pb	Mn	Zn	As	Br	Li	Sr	Si

Données BSS

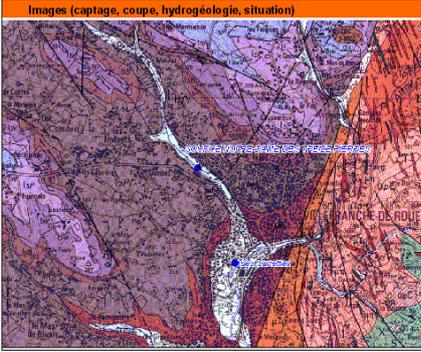
Date du dossier : 24/01/1976
Etat de l'ouvrage :
Exploitant :
Entrepreneur :
Propriétaire de l'ouvrage :
MO :
Utilisation :
Document : ANALYSE CHIMIQUE-EAU, FICHE-EAU-MINERALE

HISTORIQUE

7 Rapports réalisés par le BRGM en 2007 : 0 01

Source visitée par le BRGM en 2007 : 0 01

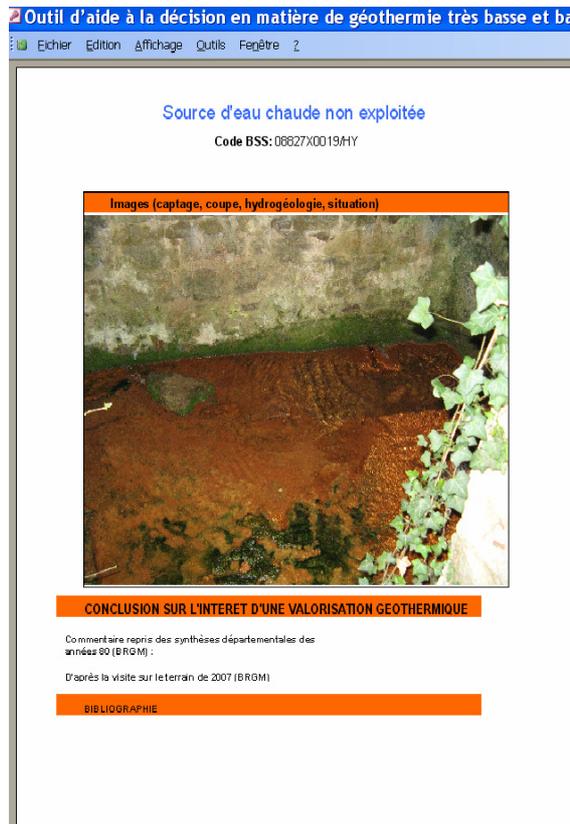
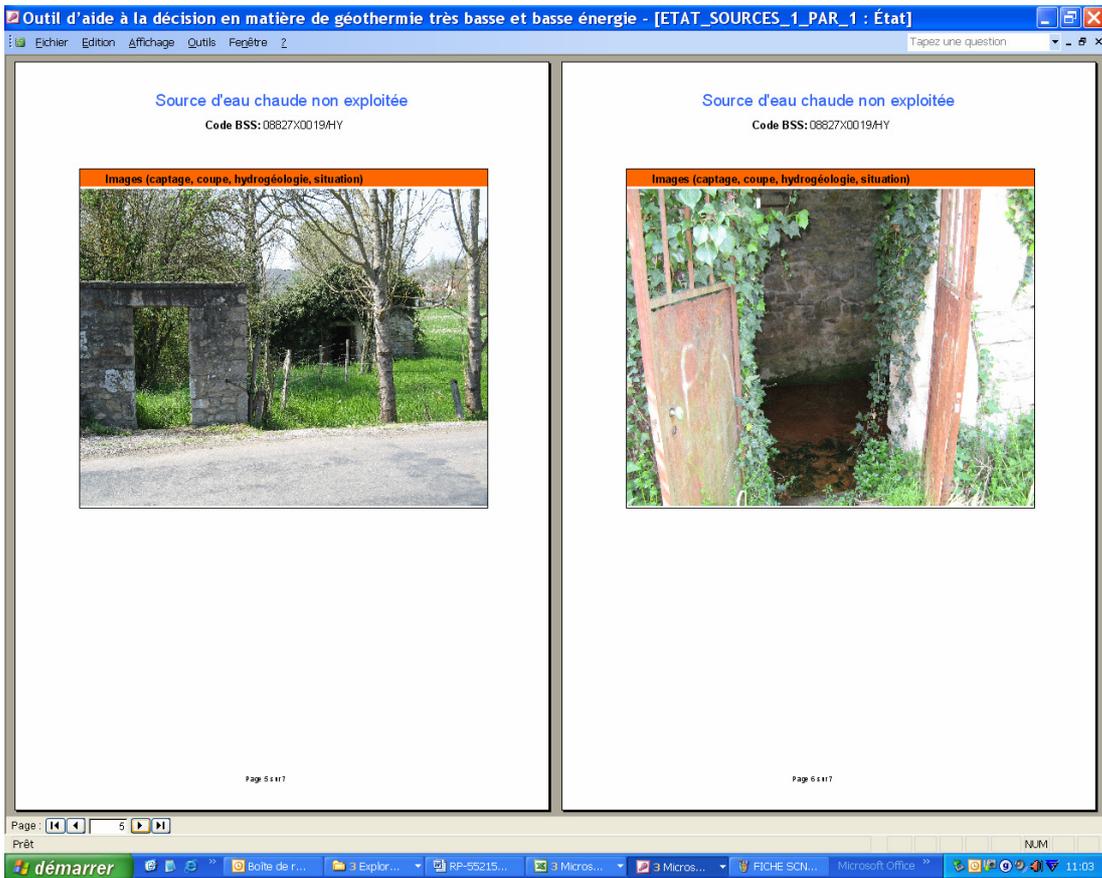
Images (captage, coupe, hydrogéologie, situation)



Page 3 sur 7

Page 4 sur 7

Page: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000



Annexe 9

Rappels de statistiques et présentation des boîtes à moustaches de Tukey

Quelques définitions

Les variables quantitatives nécessitent trois types de mesure pour avoir une idée complète de la distribution des données : les mesures de tendance centrale, les mesures de position et les mesures de dispersion, c'est-à-dire la mesure de la répartition des données autour de cette position centrale.

Quelques éléments de statistiques sont présentés ci-après, en fonction de leur appartenance à l'une ou l'autre des trois catégories :

- **la médiane**, qui constitue un indice de mesure des tendances centrales, est la valeur qui partage la distribution d'une série en deux parties égales en nombre d'observations ;
- **la moyenne**, qui est également un indice de mesure des tendances centrales, est la valeur égale à la somme des observations divisées par le nombre d'observations ;
- **les quartiles**, qui sont des mesures de position, divisent un nombre d'observations en quatre parties égales. Le premier quartile correspond à 25% des effectifs les plus petits et le troisième quartile à 75% des effectifs les plus petits ;
- **l'intervalle interquartile** représente l'intervalle comprenant 50% des observations les plus au centre de la distribution.

Les boîtes à moustaches de Tukey

Les données de débits ont été traitées par la méthode des « boîtes à moustaches de Tukey » qui permet de représenter schématiquement une distribution (illustration 1). Cette représentation est très intéressante pour visualiser rapidement les points aberrants qui doivent faire l'objet d'une attention particulière.

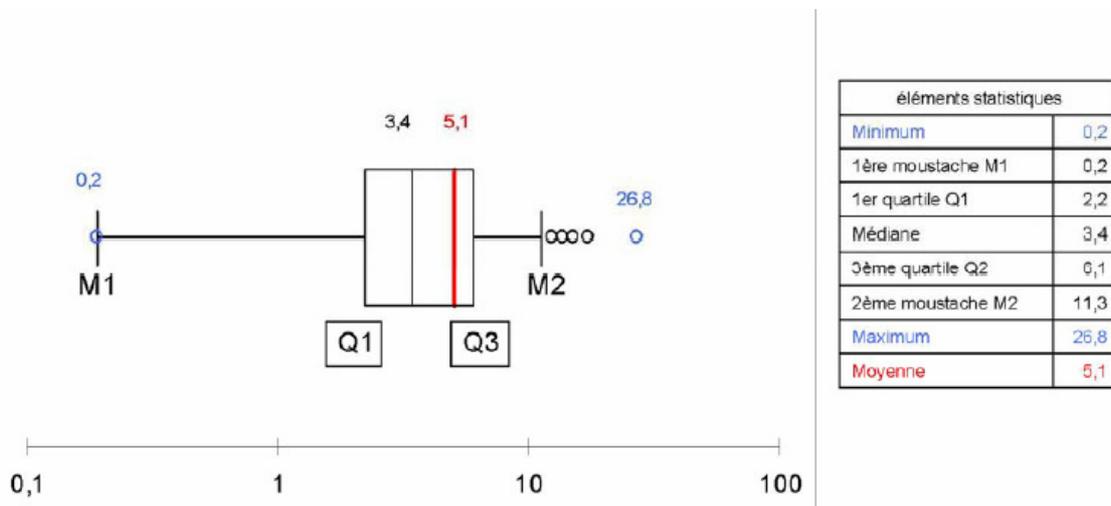


Illustration 1 : Exemple de représentation par la méthode des boîtes à moustaches de Tukey

Plusieurs paramètres sont indiqués sur une boîte à moustaches :

- la valeur du deuxième quartile Q2 (50 % des effectifs) ou médiane, représentée par un trait vertical à l'intérieur de la boîte ;
- le troisième quartile Q3 (75 % des effectifs) correspondant au trait supérieur de la boîte ;
- les deux « moustaches » inférieure et supérieure représentées par les segments horizontaux de part et d'autre de la boîte. Ces deux moustaches délimitent les valeurs dites adjacentes qui sont déterminées à partir de l'écart interquartile (Q3-Q1) ;
- les valeurs dites extrêmes, atypiques ou anormales et qui sont situées au-delà des valeurs adjacentes sont individualisées. Elles sont représentées par les cercles noirs ;

- les valeurs des minimum et maximum sont également individualisées et sont représentées par les cercles bleus ;
- la valeur de la moyenne représentée par une barre ou une croix rouge.

L'extrémité de la moustache inférieure est la valeur minimum dans les données qui est supérieure à la valeur frontière basse : $Q1 - 1,5 * (Q3 - Q1)$.

L'extrémité de la moustache supérieure est la valeur maximum dans les données qui est inférieure à la frontière haute : $Q3 + 1,5 * (Q3 - Q1)$ (illustration 2).

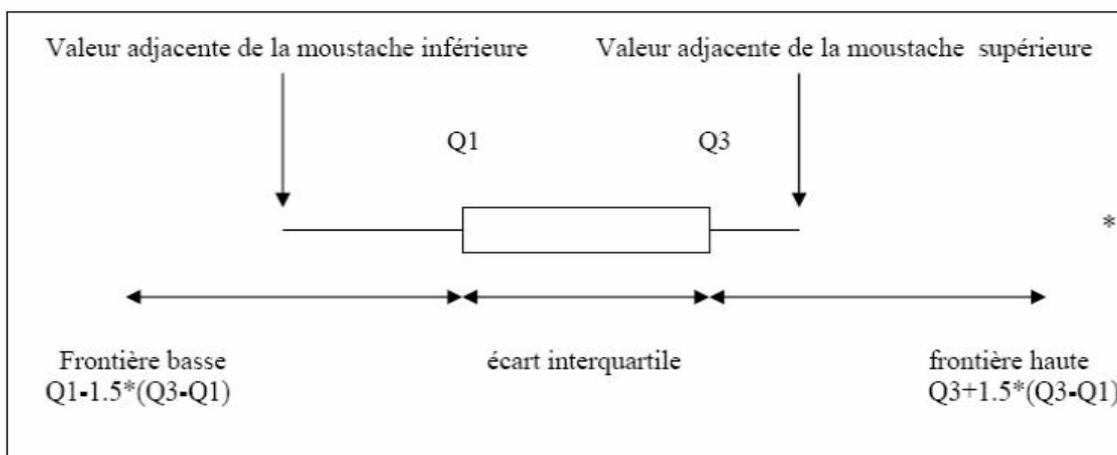


Illustration 2 : Evaluation des valeurs des extrémités des moustaches

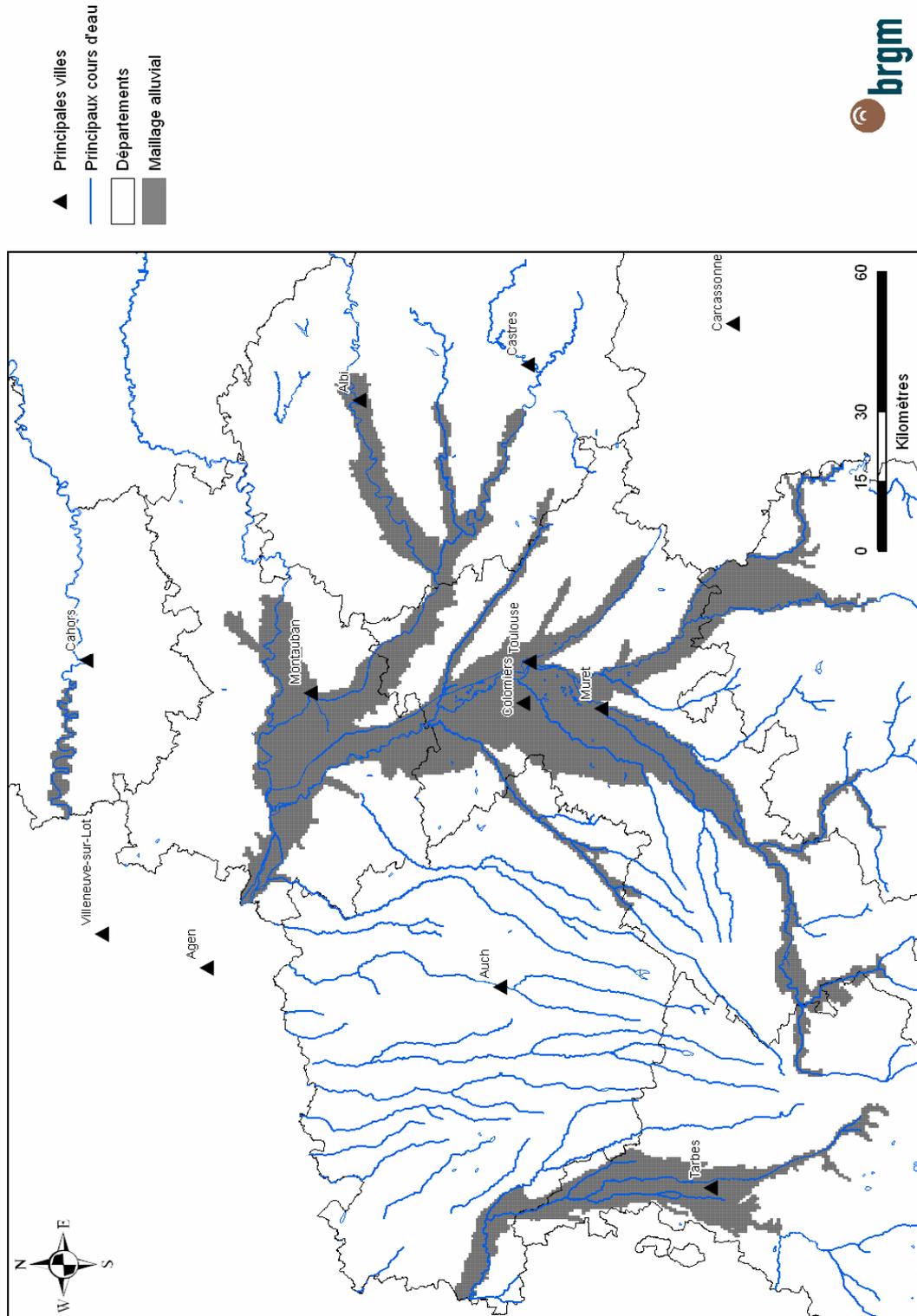
Dans la boîte à moustaches définie par Tukey, la boîte a pour longueur la distance interquartile ($Q3 - Q1$), et les moustaches sont basées généralement sur **1,5** fois la longueur de la boîte. Dans ce cas, une valeur est atypique si elle dépasse de 1,5 fois l'écart interquartile audessous du 1^{er} quartile ou au dessus du 3^{ème} quartile.

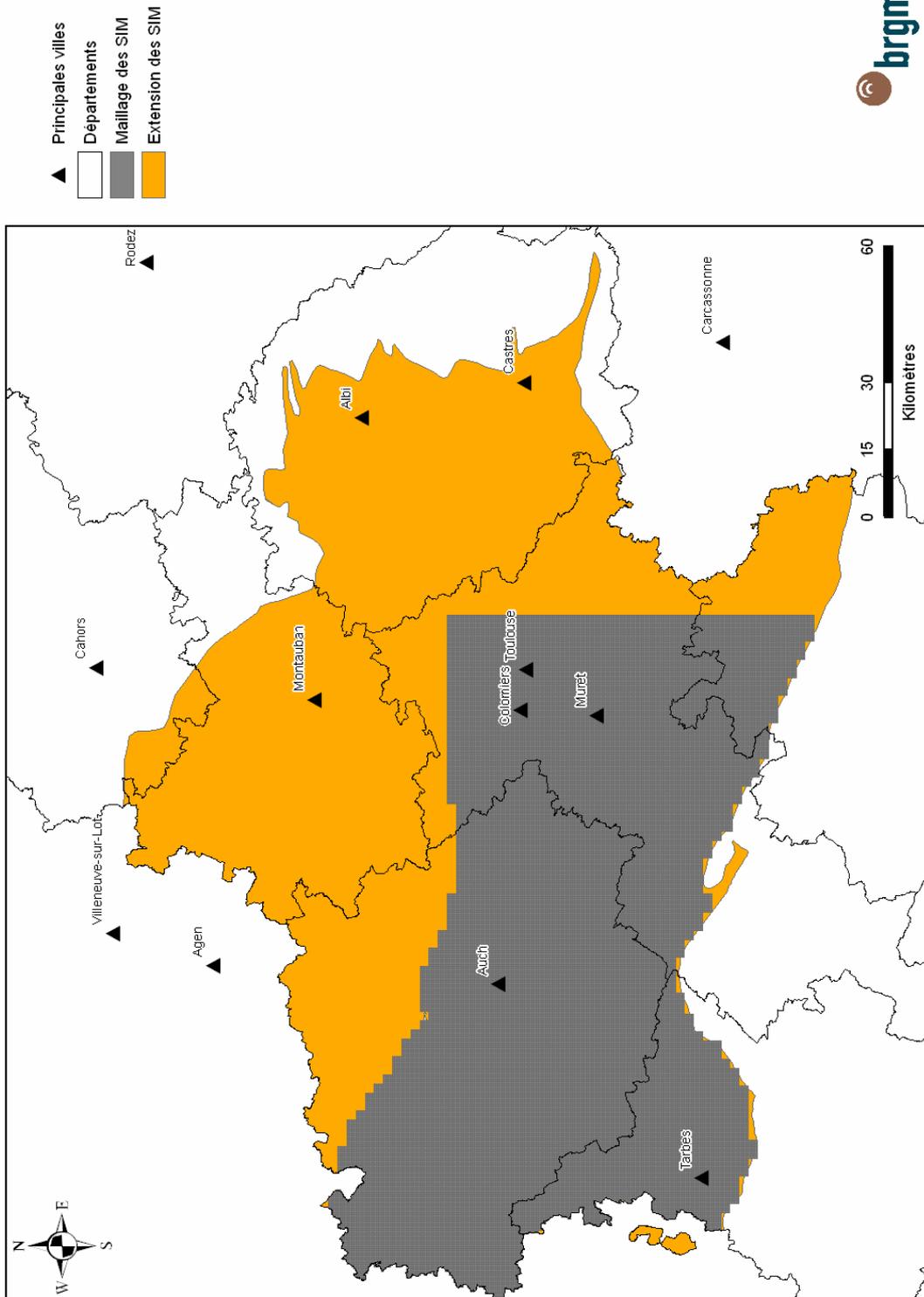
En se basant sur les quartiles, c'est-à-dire des statistiques d'ordre, la médiane et l'écart interquartile ne sont jamais influencés par les valeurs extrêmes. La valeur 1,5 est selon Tukey une valeur pragmatique (*rule of thumb*), qui a une raison probabiliste. Si une variable suit une distribution normale, alors la zone délimitée par la boîte et les moustaches devrait contenir **99,3 %** des observations. On ne devrait donc trouver que **0,7 %** d'observations atypiques (*outliers*). Si le coefficient valait 1, la probabilité serait de **0,957**, et elle vaudrait **0,999** si le coefficient était égal à 2.

Pour Tukey, la valeur 1,5 est donc un compromis pour retenir comme atypiques assez d'observations mais pas trop d'observations.

Annexe 10

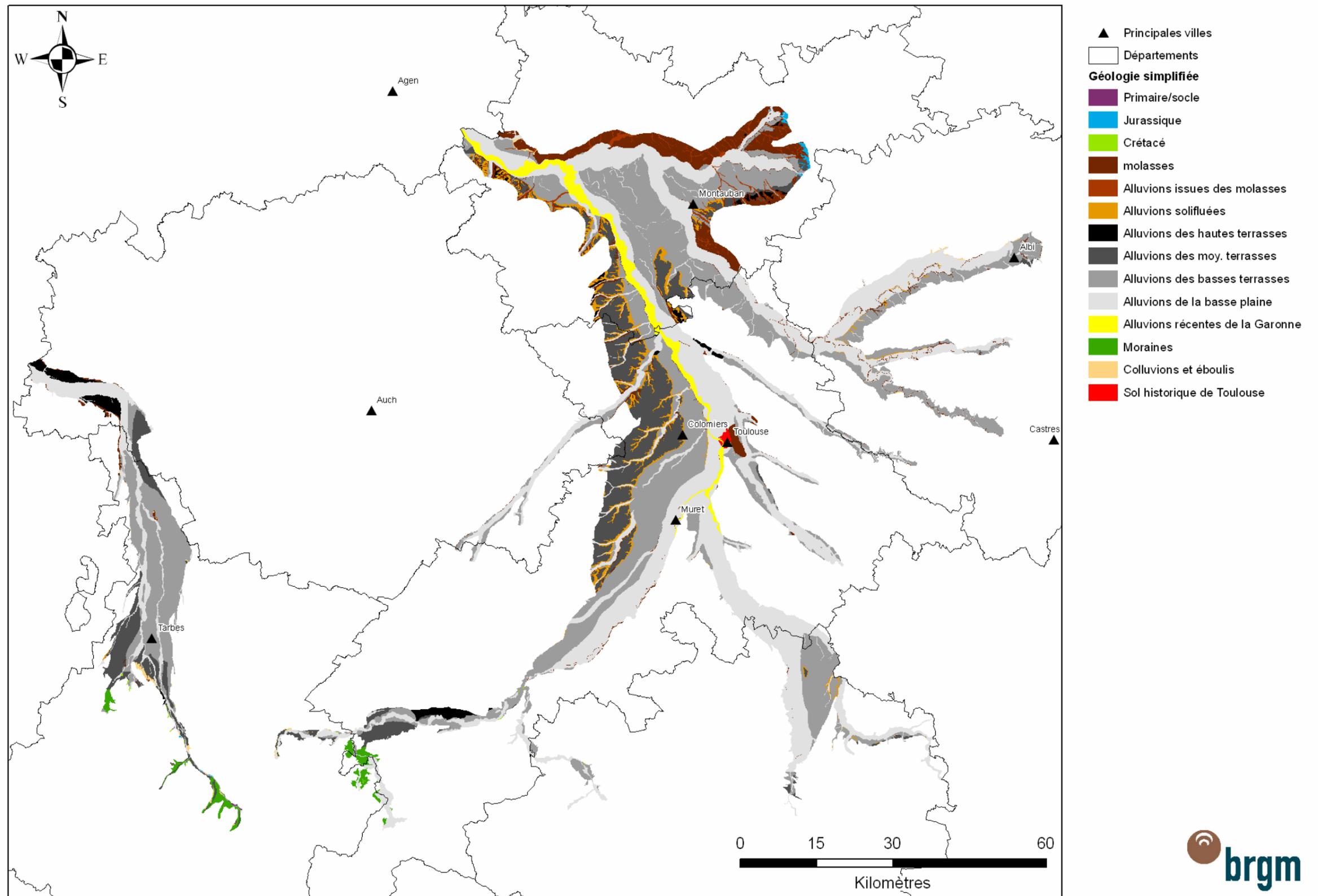
Extension des zones alluviales et des Sables Infra-Molassiques objets de l'étude





Annexe 11

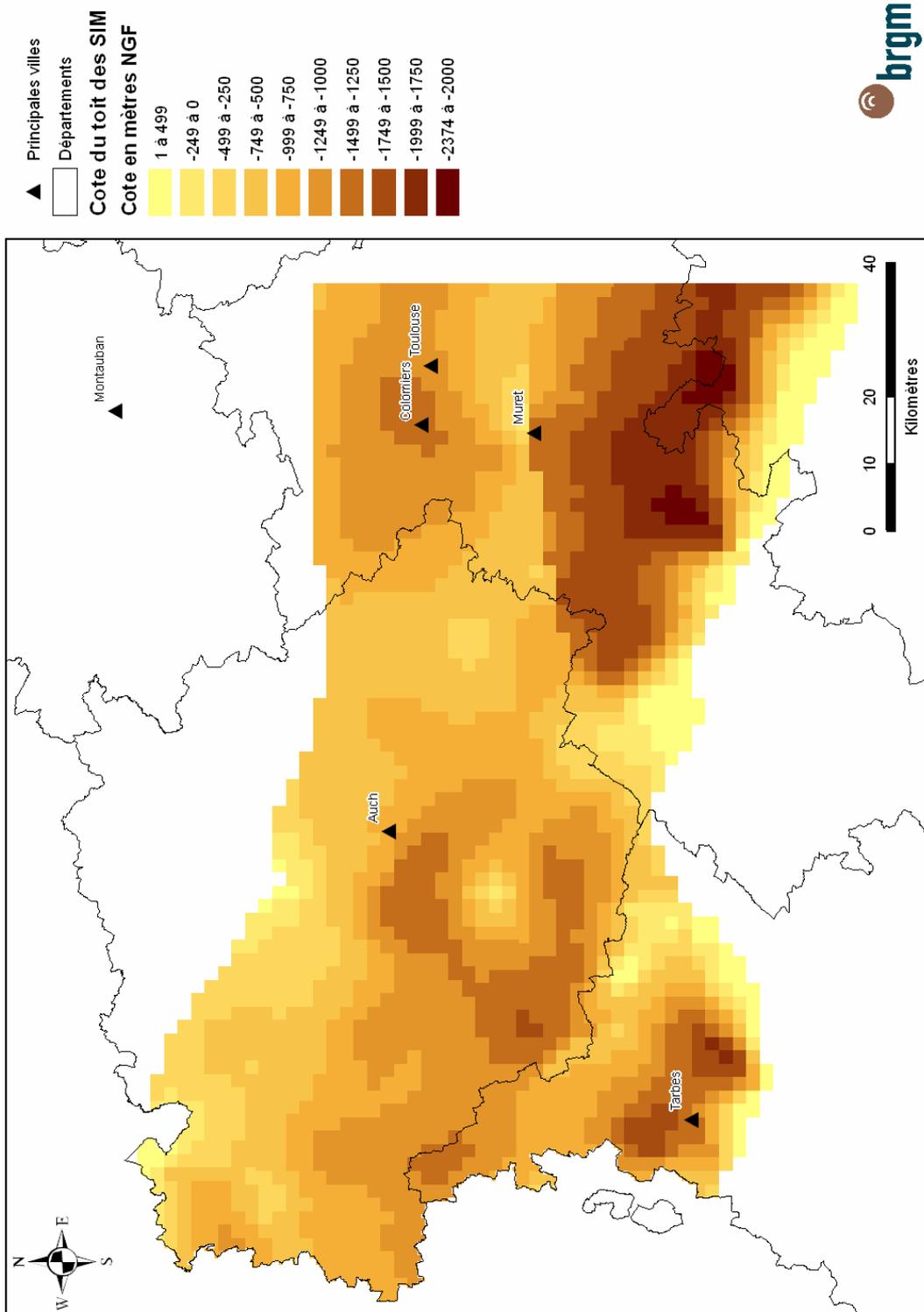
Carte géologique simplifiée de la Garonne et de l'Adour

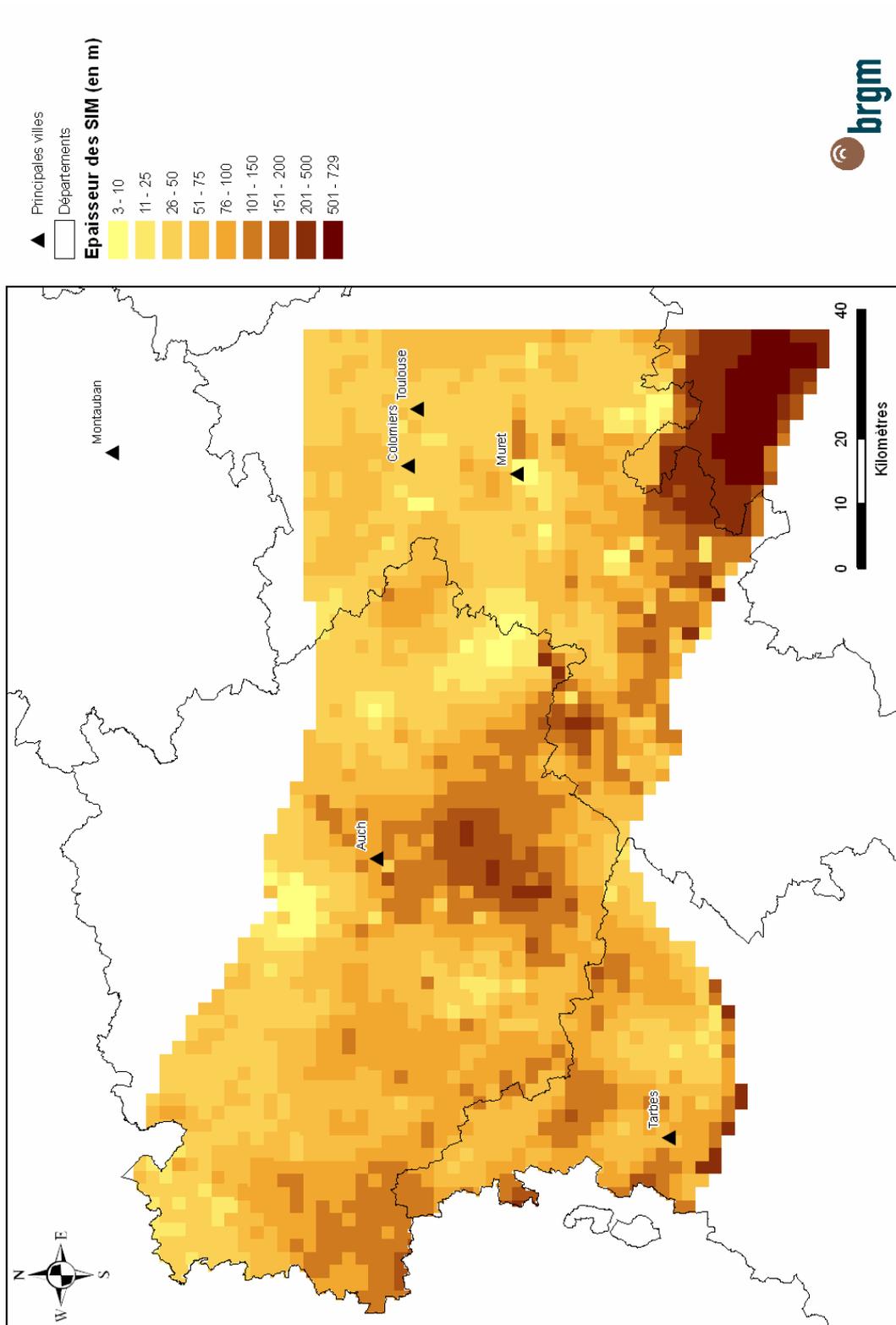


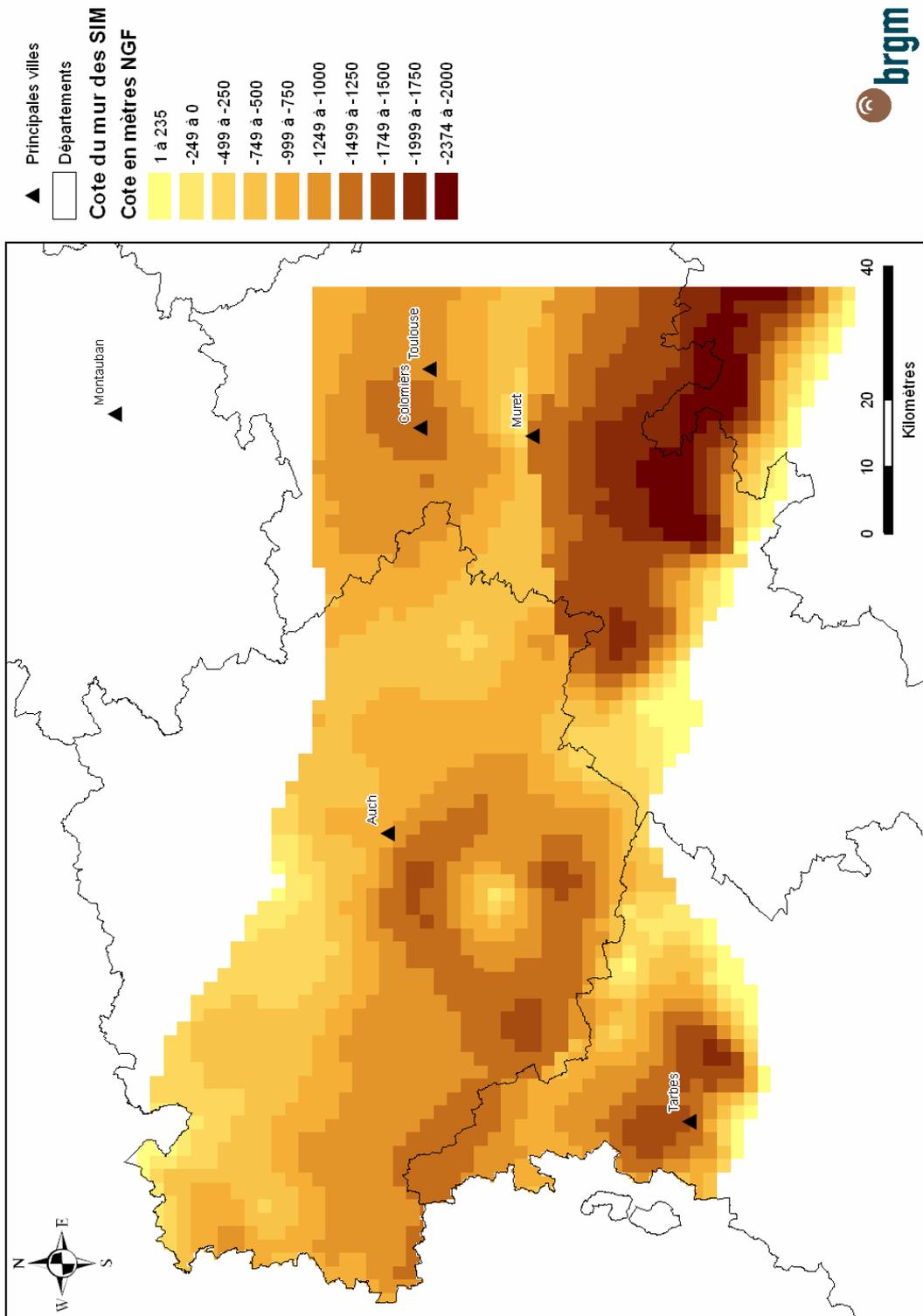
Annexe 12

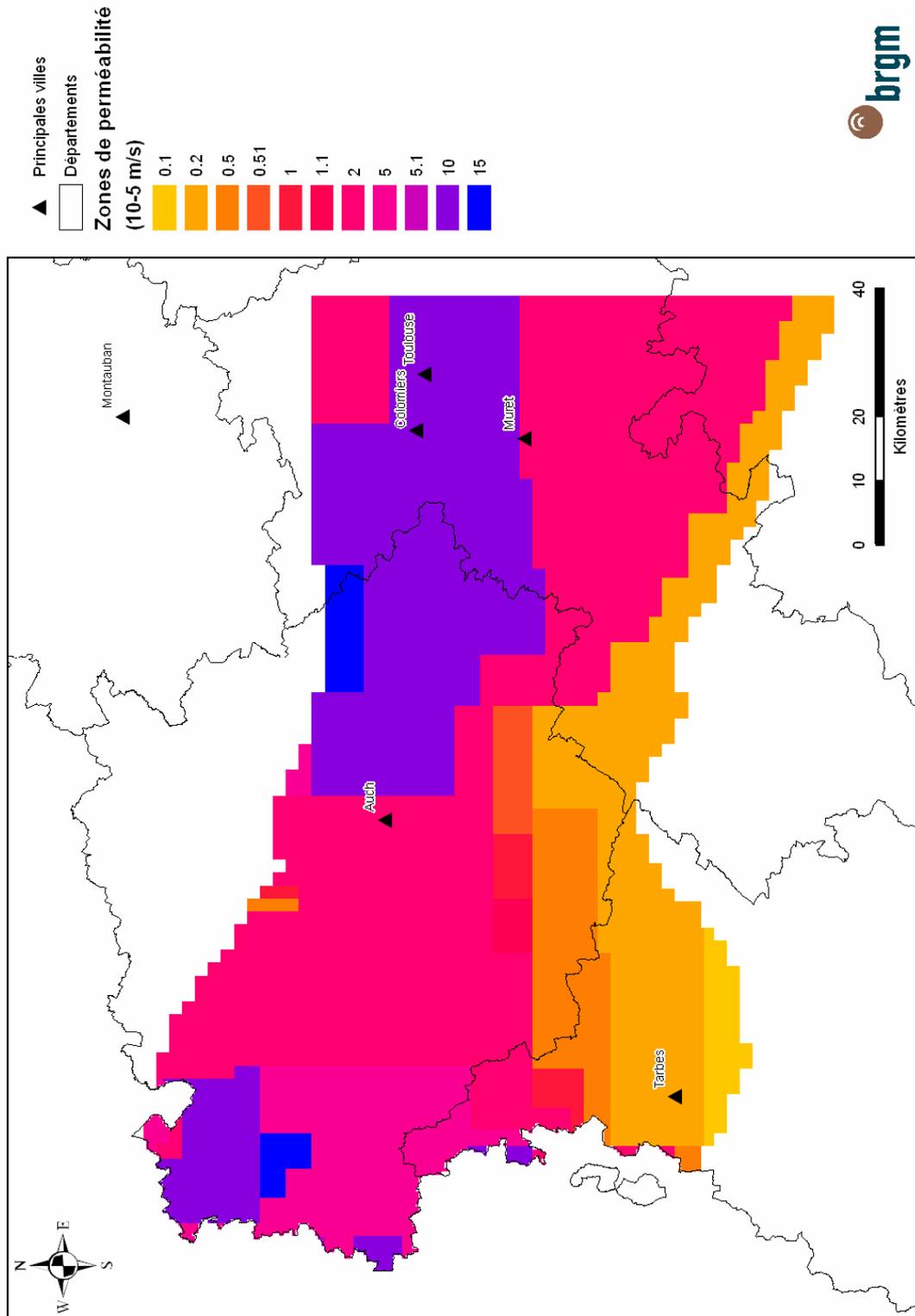
Cartes du toit, du mur, de l'épaisseur, des perméabilités et des transmissivités des sables infra-molassiques

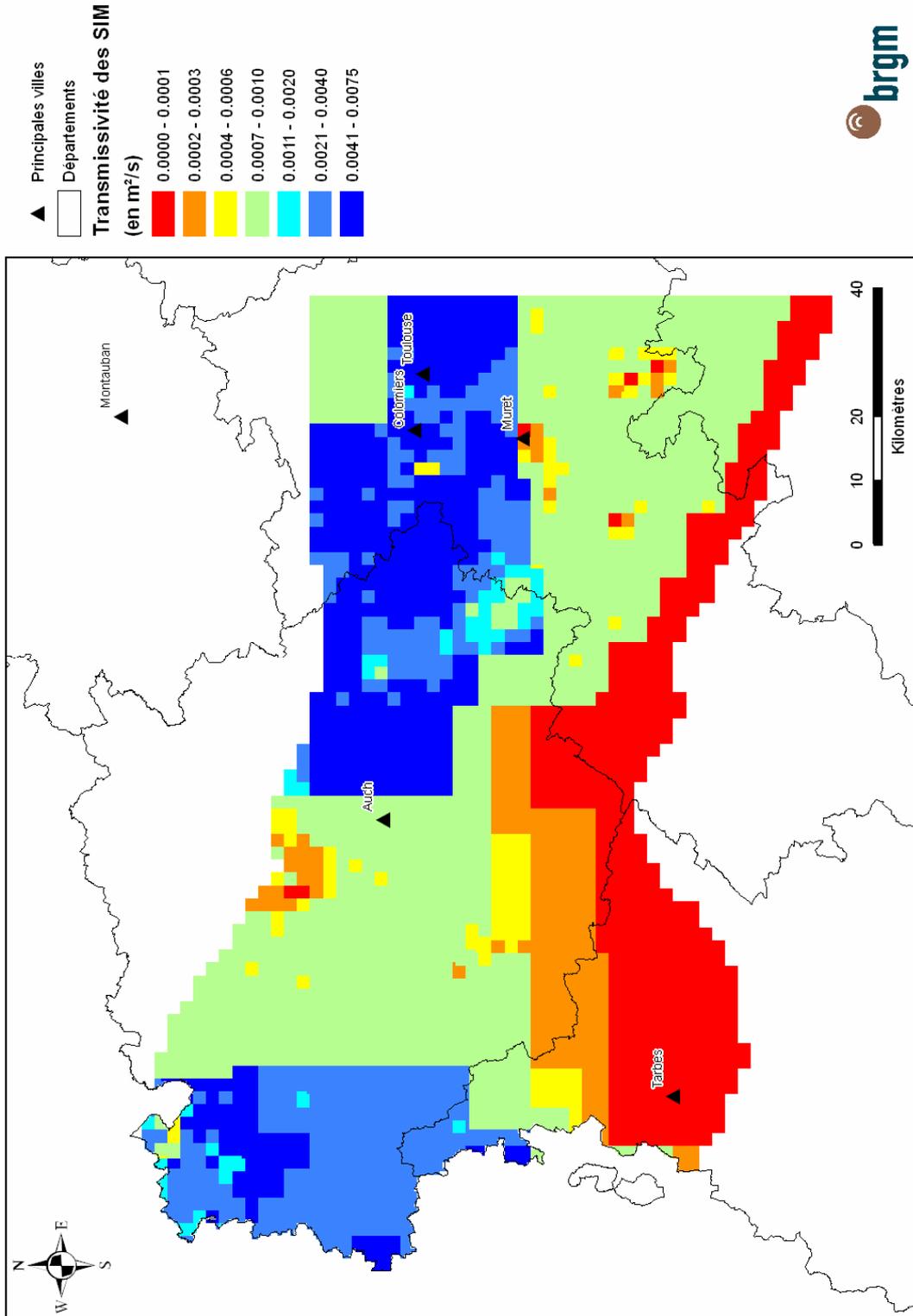
Cartes réalisées à partir du modèle hydrodynamique SUD AQUITAIN, développé avec un maillage de 2 km de côté et ramené à un maillage de 500 m de côté.





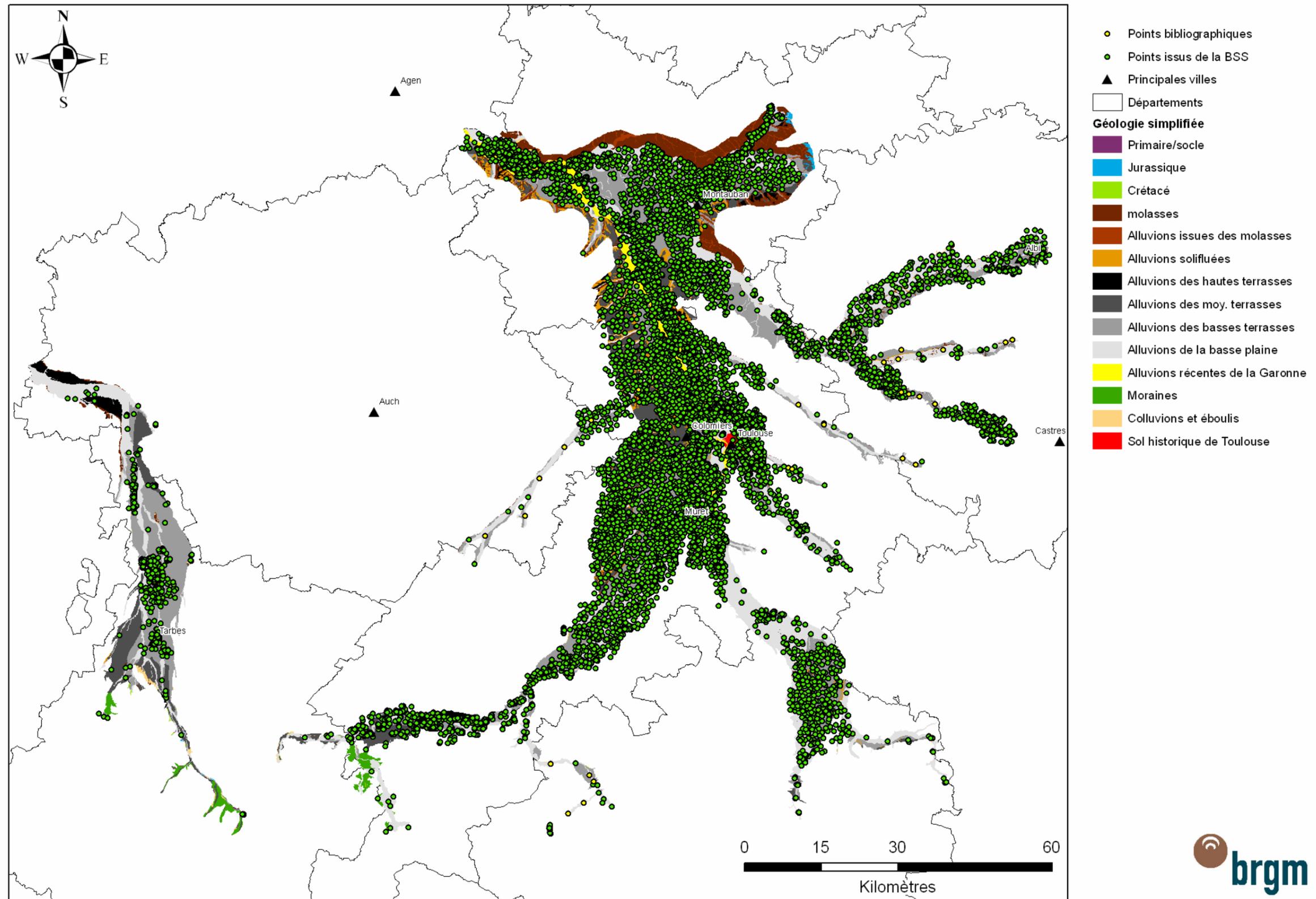






Annexe 13

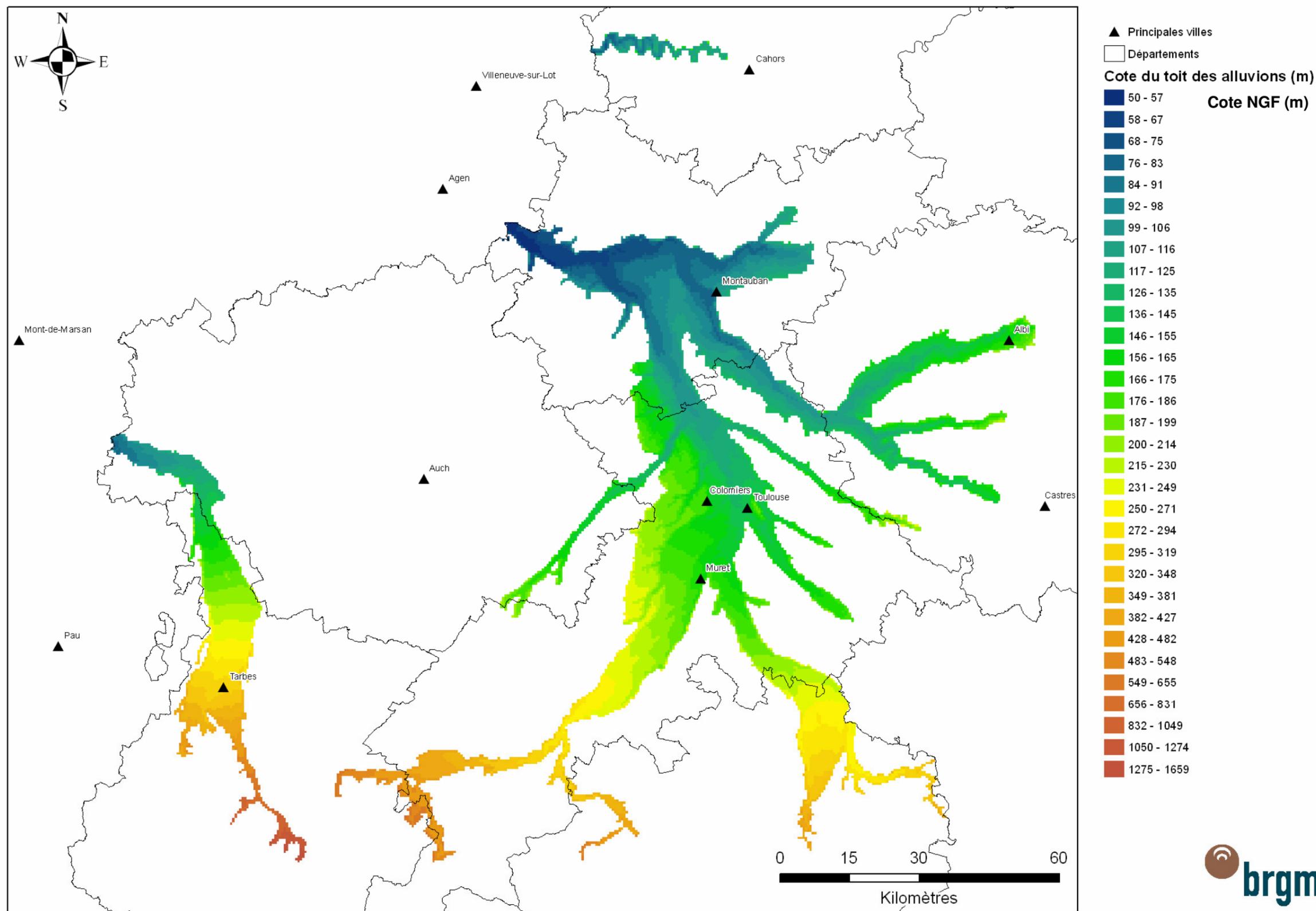
Carte des points utilisés pour la détermination par interpolation du substratum des alluvions



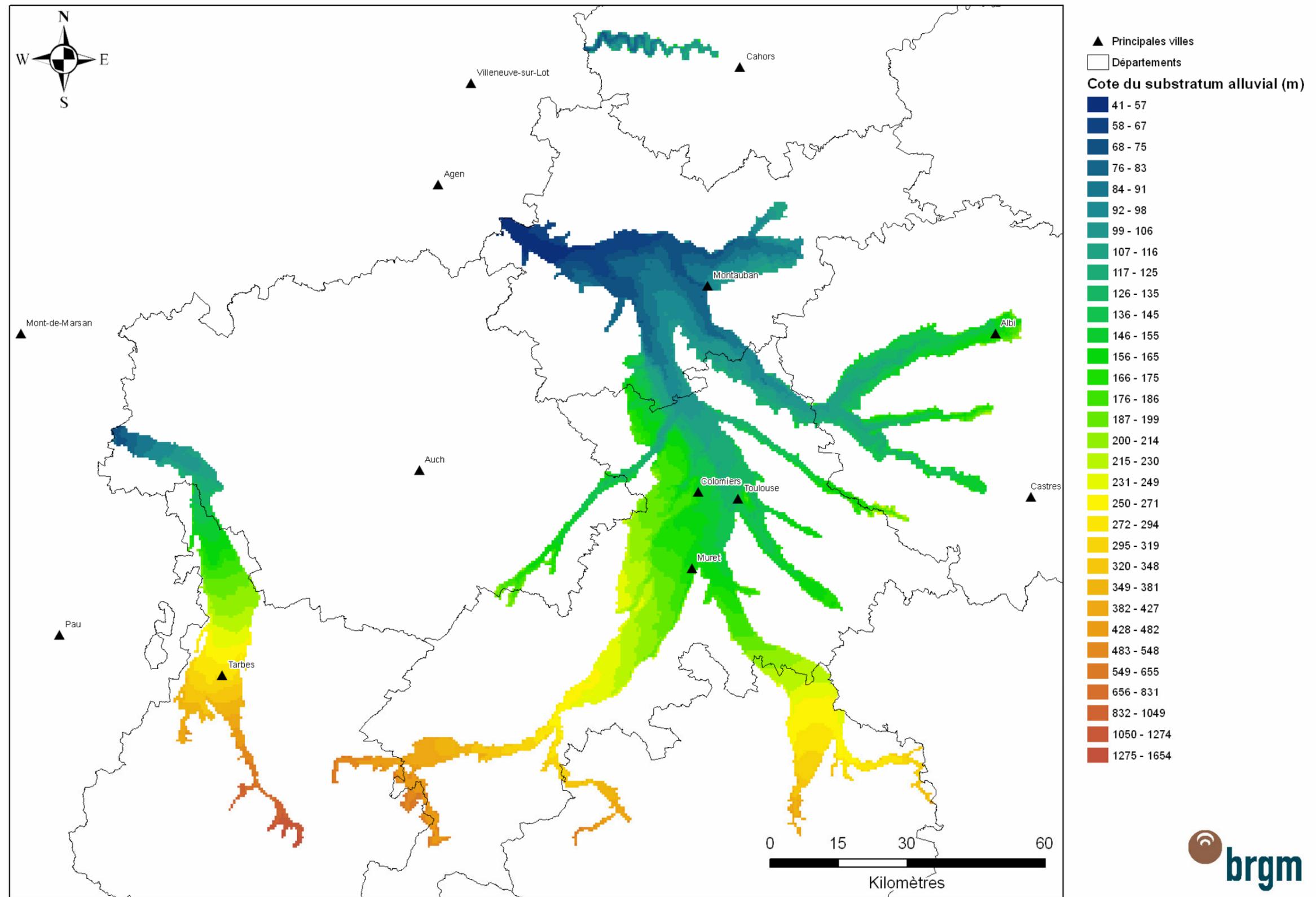
Annexe 14

Cartes du toit, du mur et de l'épaisseur des alluvions

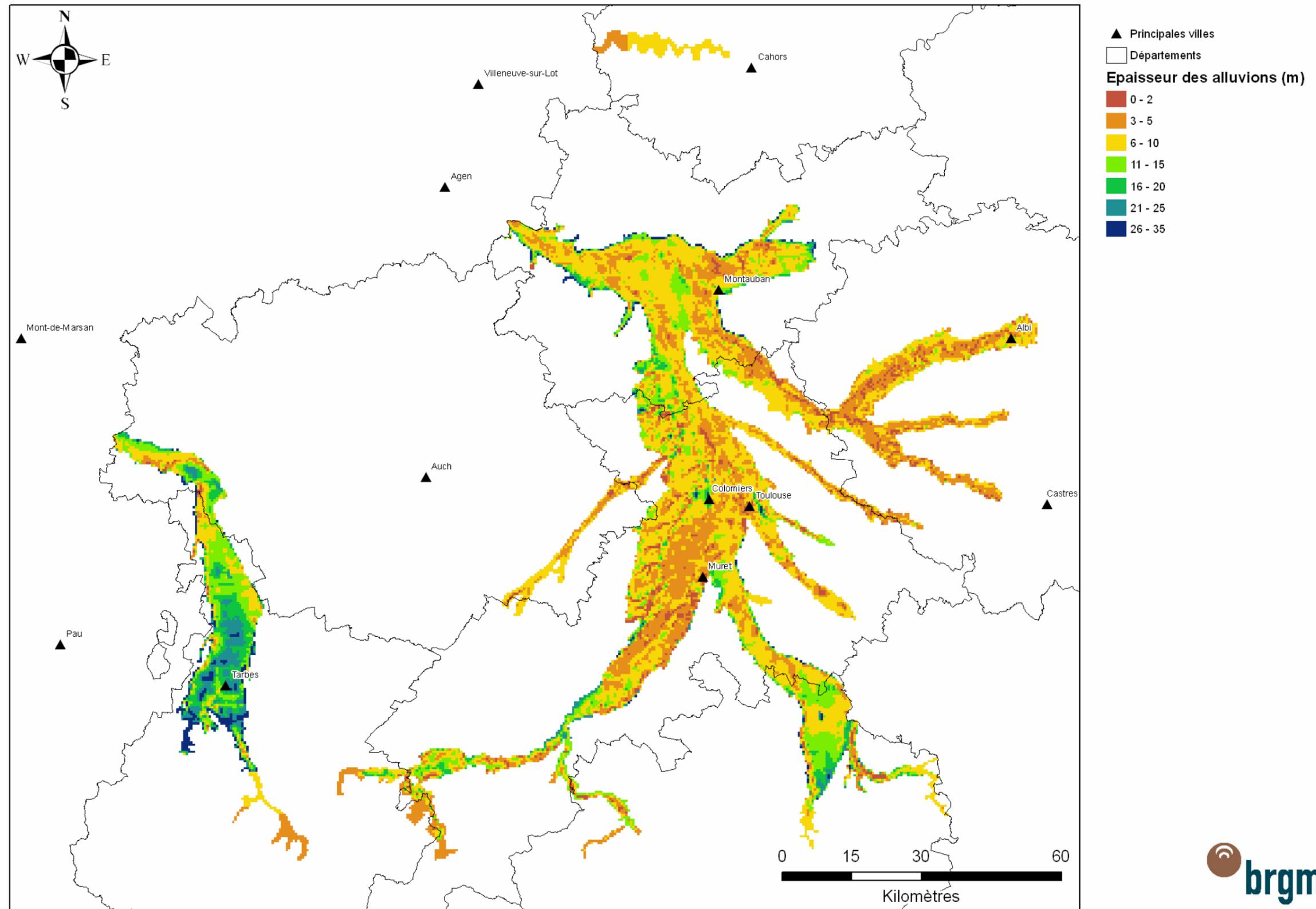
ANNEXE 14a : Modélisation du toit des alluvions en cote NGF



ANNEXE 14b : Modélisation du substratum des alluvions en cote NGF

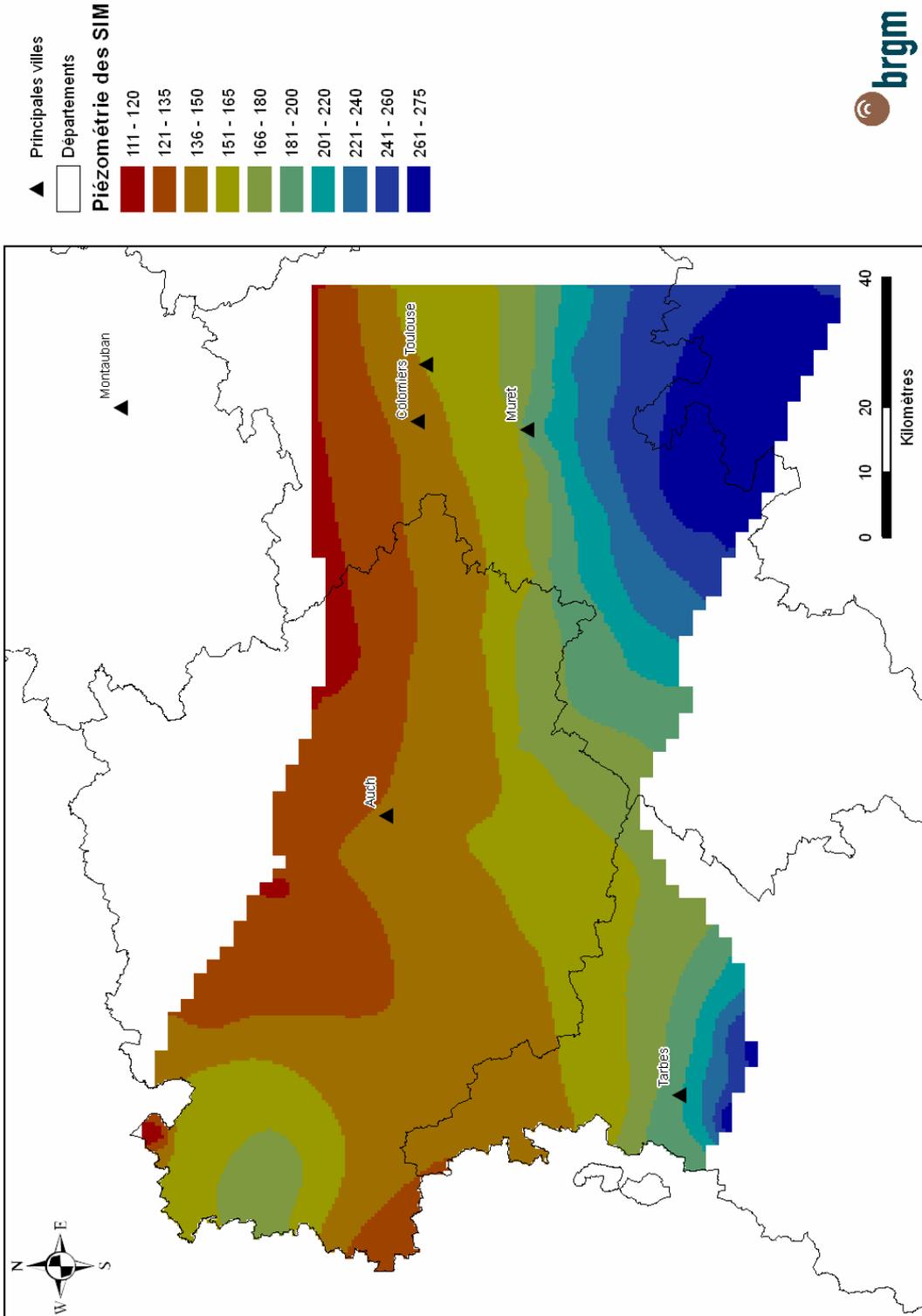


ANNEXE 14b : Modélisation de l'épaisseur des alluvions en m (par soustraction du toit et du substratum)



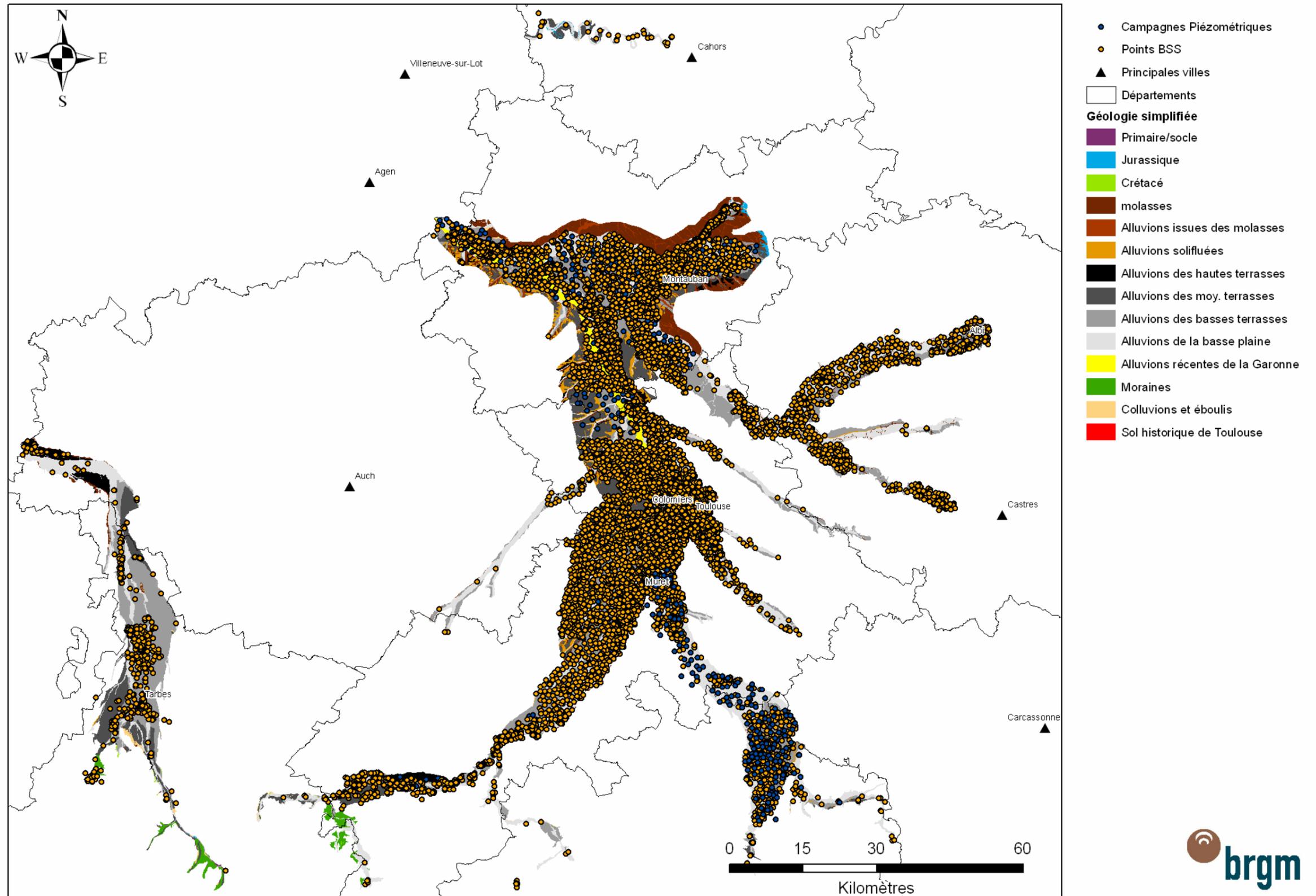
Annexe 15

Cote piézométrique des Sables Infra-molassiques



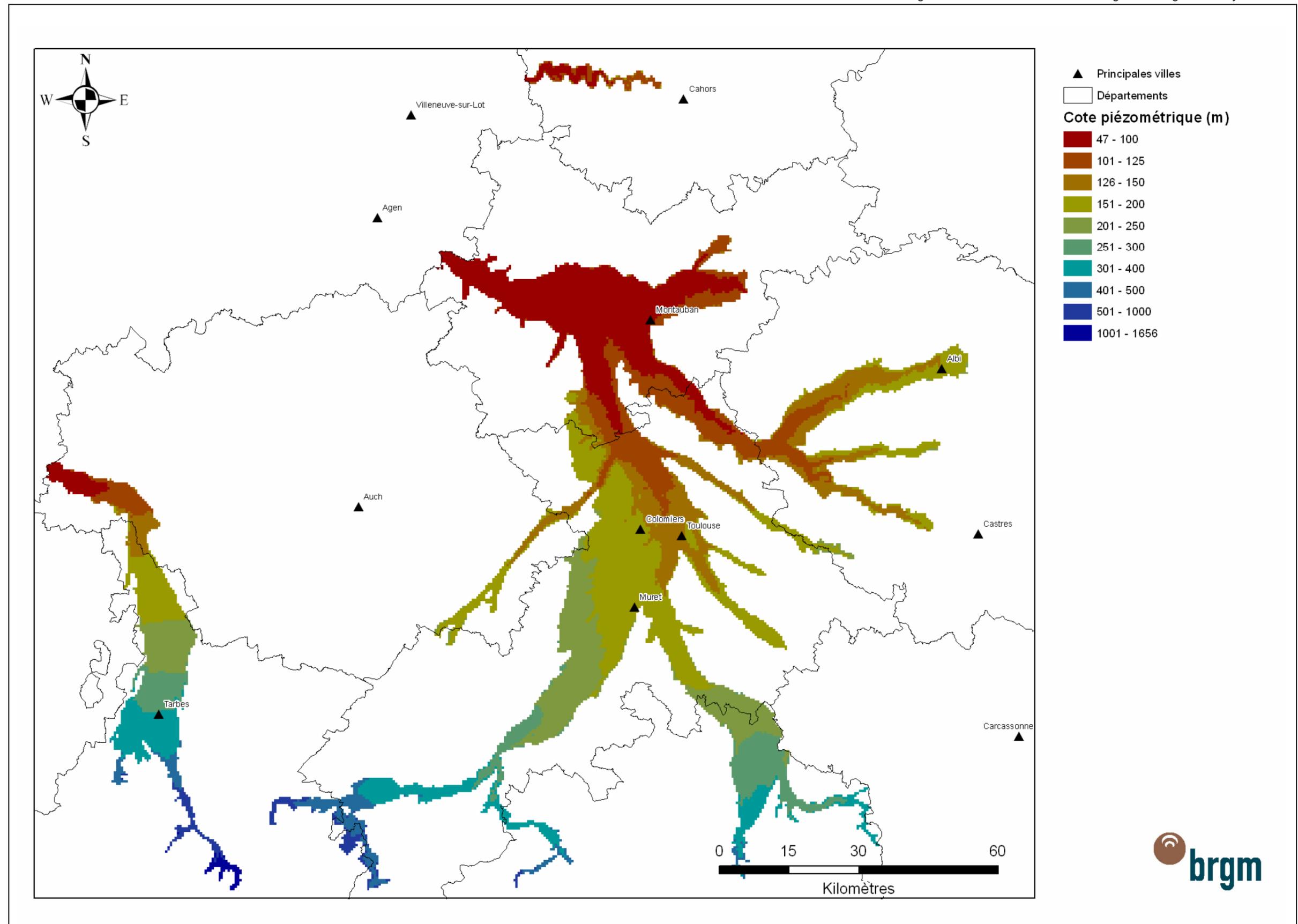
Annexe 16

Carte des points utilisés pour déterminer la piézométrie des nappes alluviales



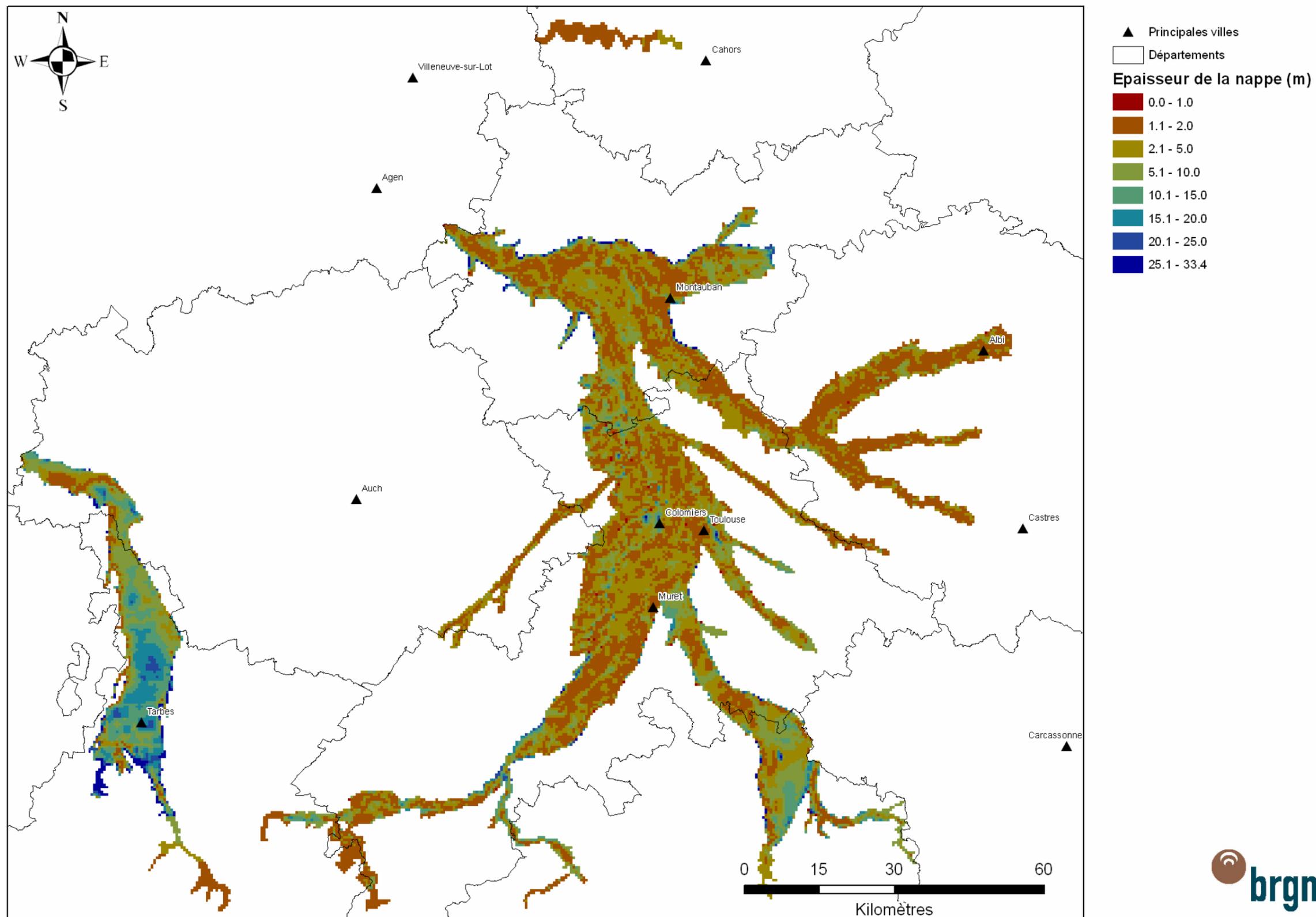
Annexe 17

Cote piézométrique des nappes alluviales



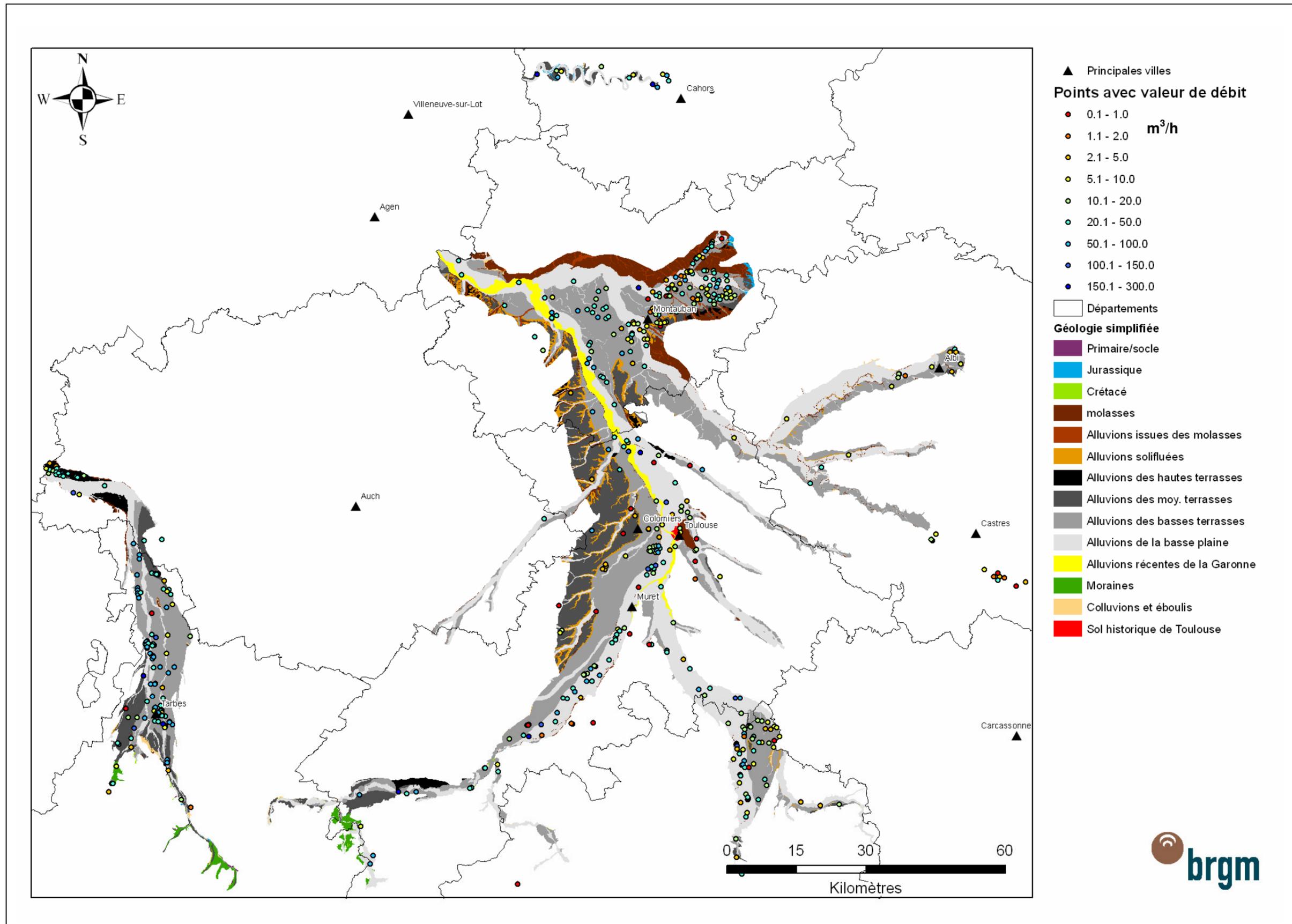
Annexe 18

Épaisseur des nappes alluviales



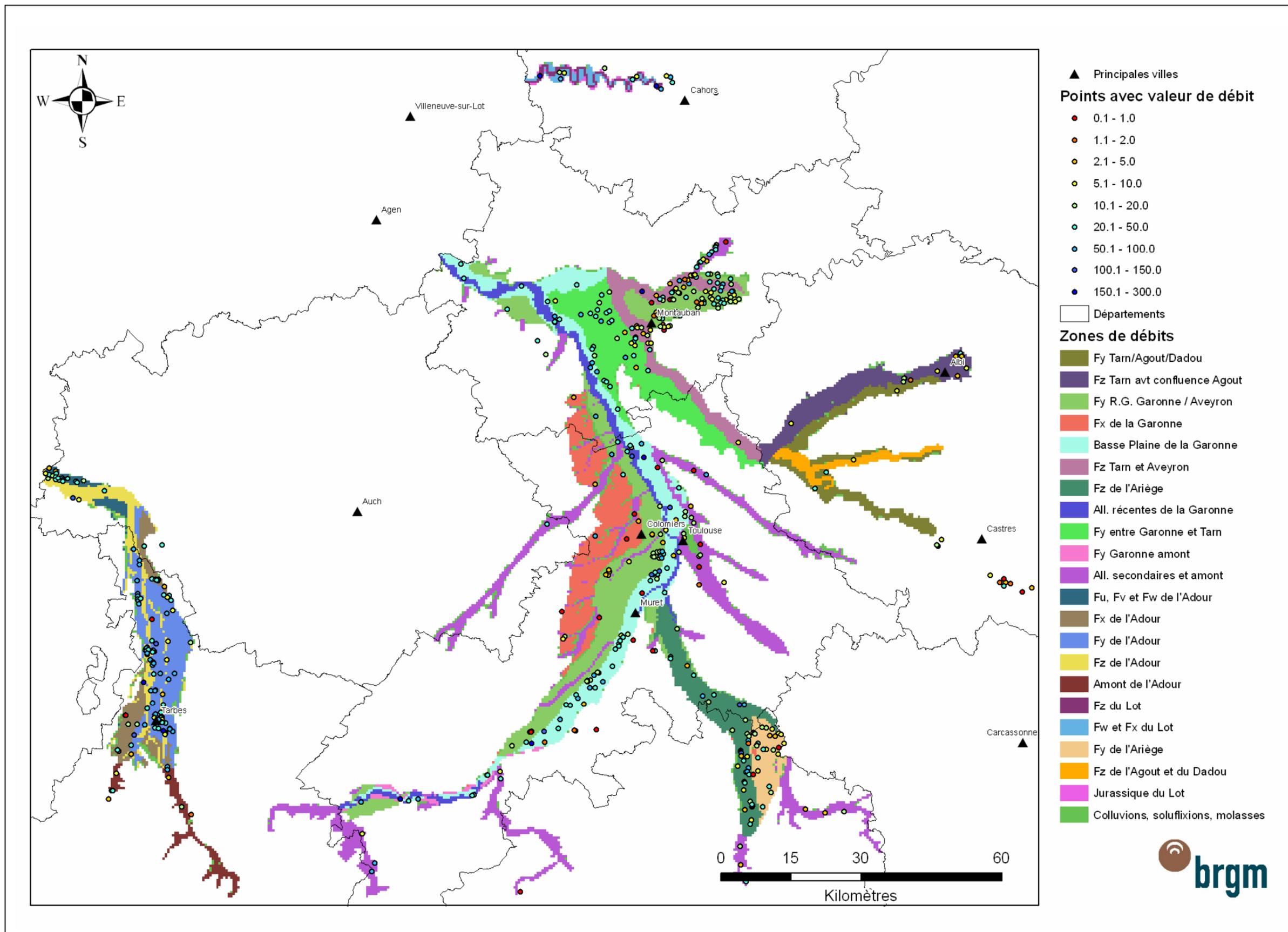
Annexe 19

Carte des ouvrages disposant d'une donnée de débit en Banque du Sous-Sol qui a été utilisée dans le cadre de l'étude



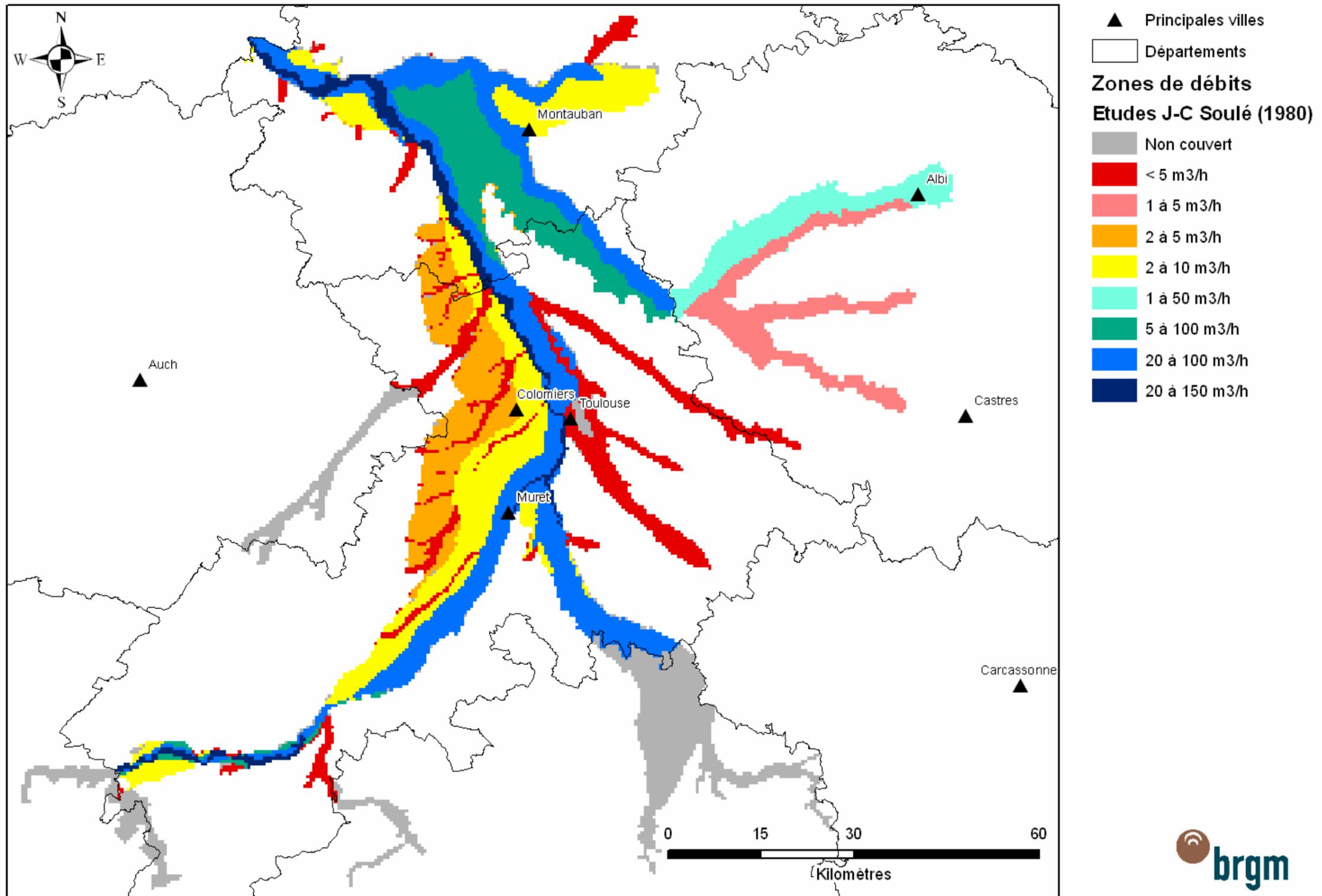
Annexe 20

Carte des zones de débit retenues



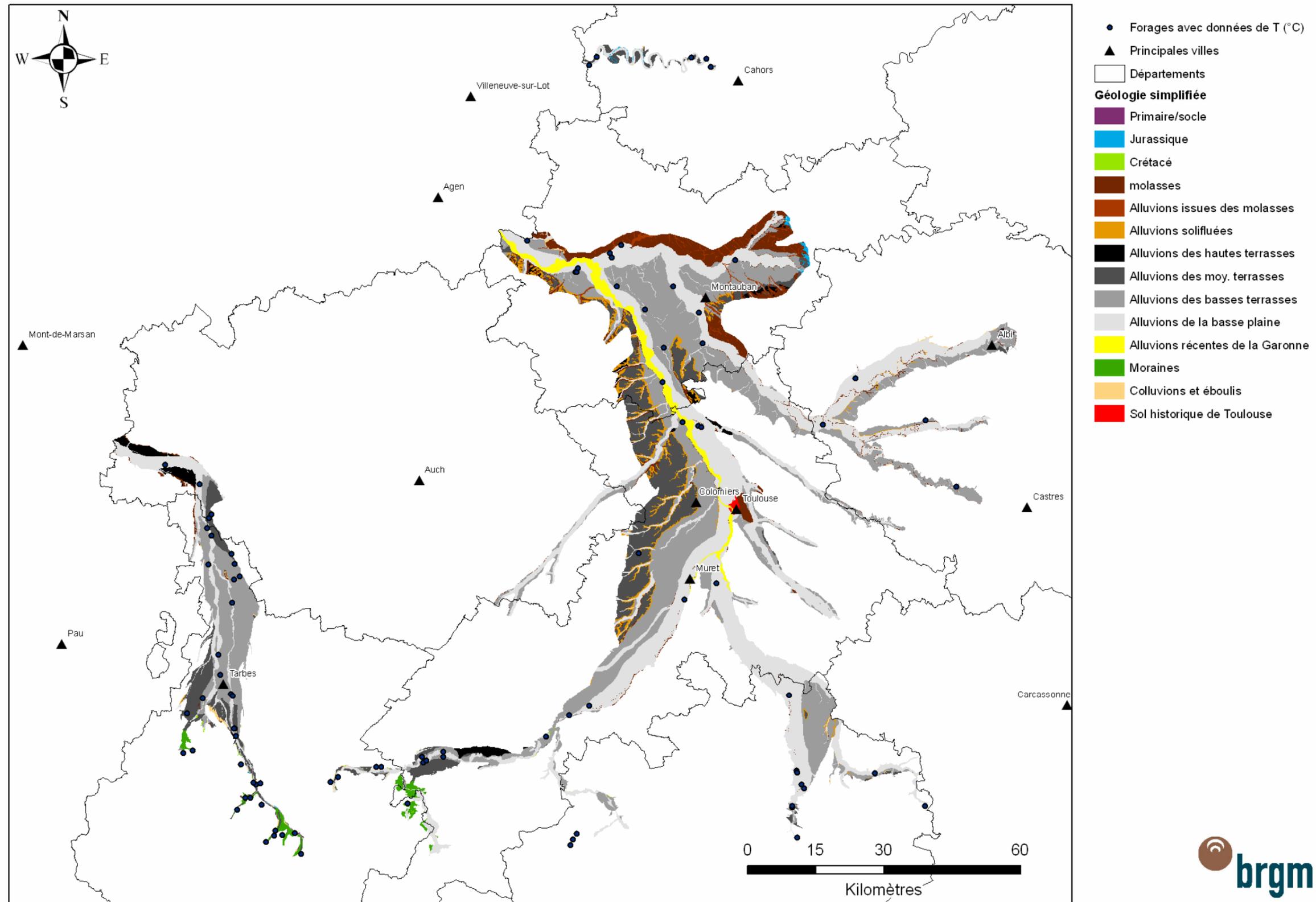
Annexe 21

Carte des zones de débit proposées par J-C. Soulé en 1981 sur une partie du domaine alluvial de la Garonne



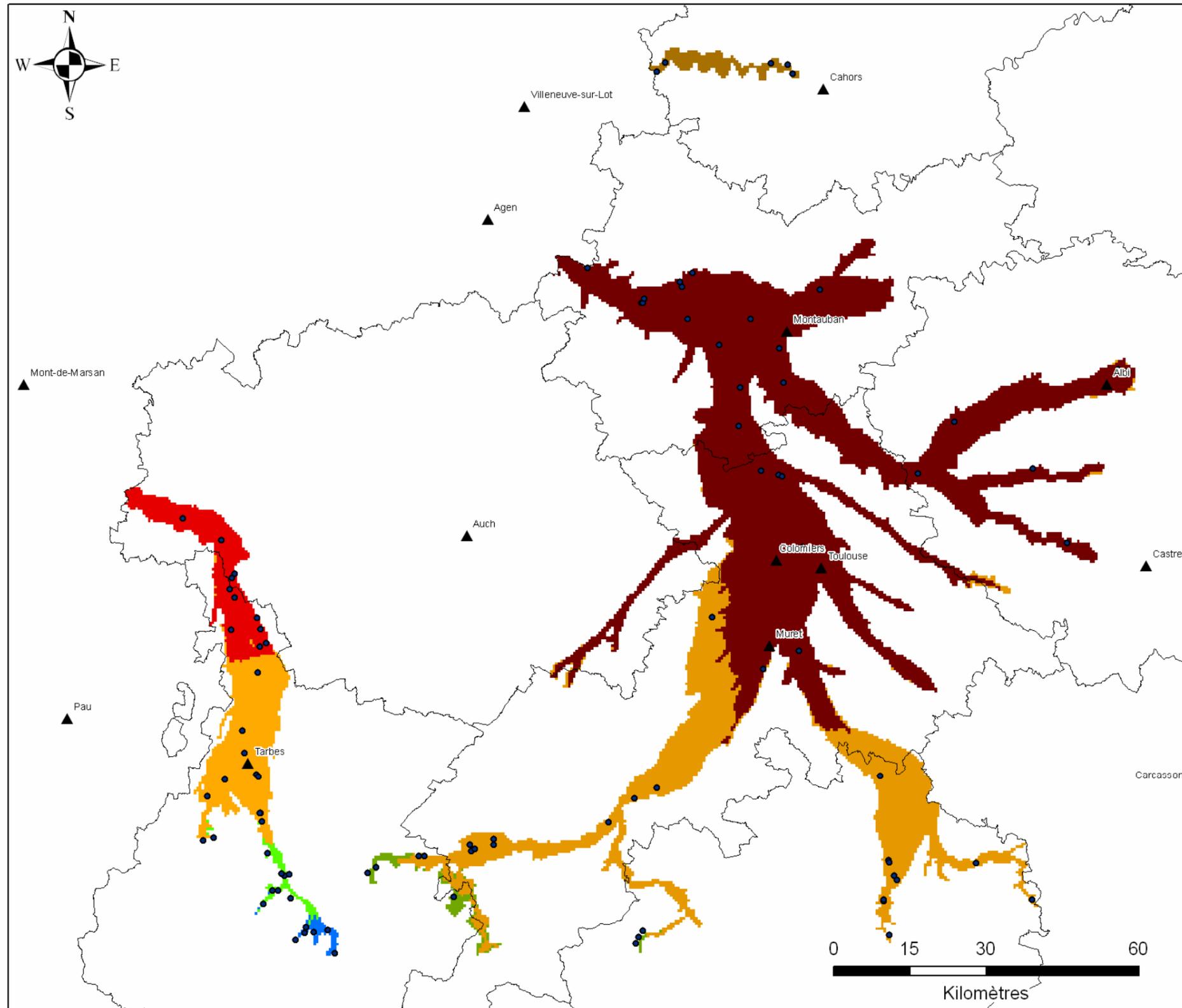
Annexe 22

Carte des points de la banque ADES disposant de données de température dans les zones alluviales étudiées



Annexe 23

Cartes des zones de température définies pour les nappes alluviales

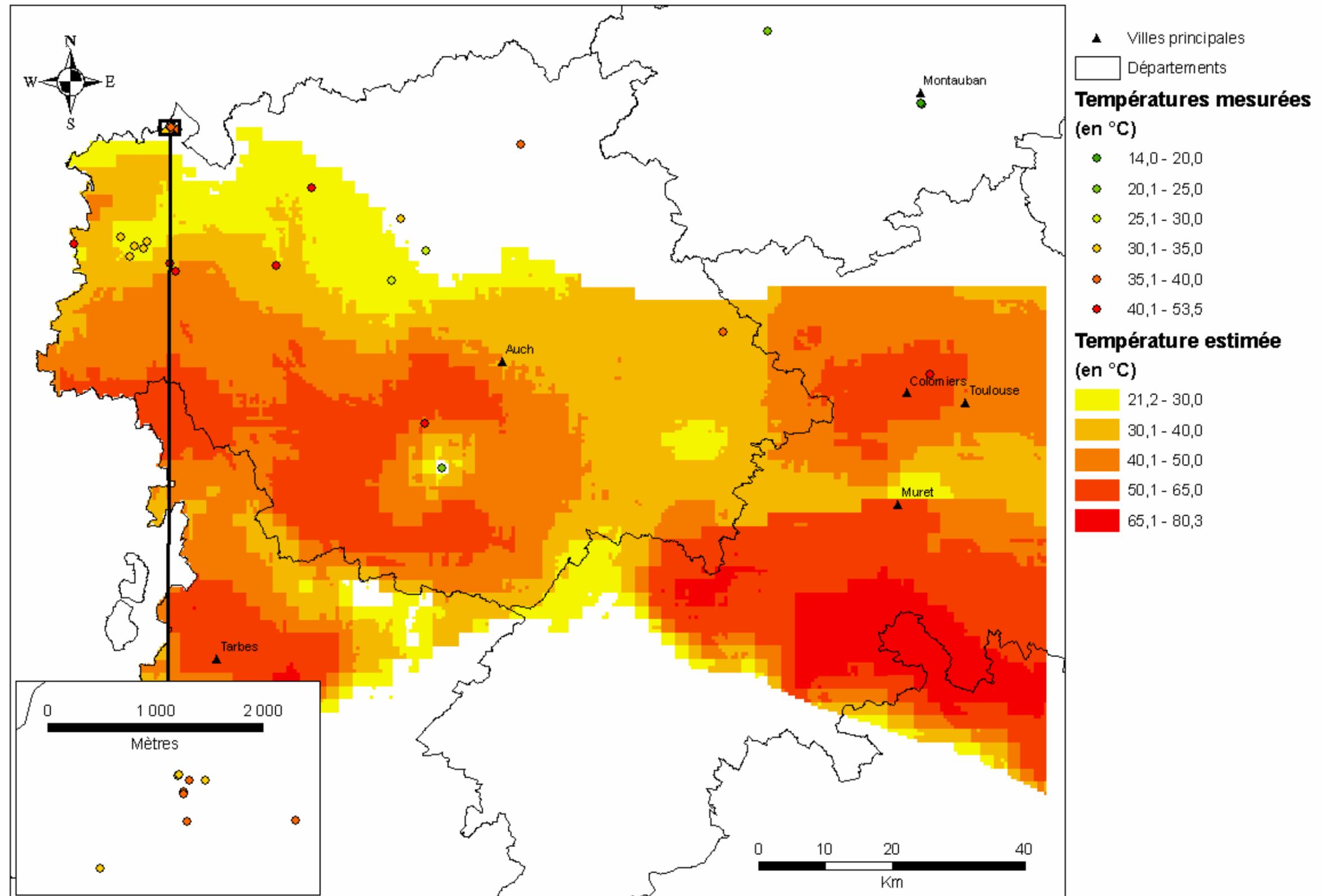


- Forages avec données de T (°C)
 - ▲ Principales villes
 - Départements
- Zones de température**
- Adour / Altitude 1
 - Adour / Altitude 2
 - Adour / Altitude 3
 - Adour / Altitude 4
 - Garonne / Altitude 1
 - Garonne / Altitude 2
 - Garonne / Altitude 3
 - Lot / Altitude 1
- homogènes établies à partir des altitudes**



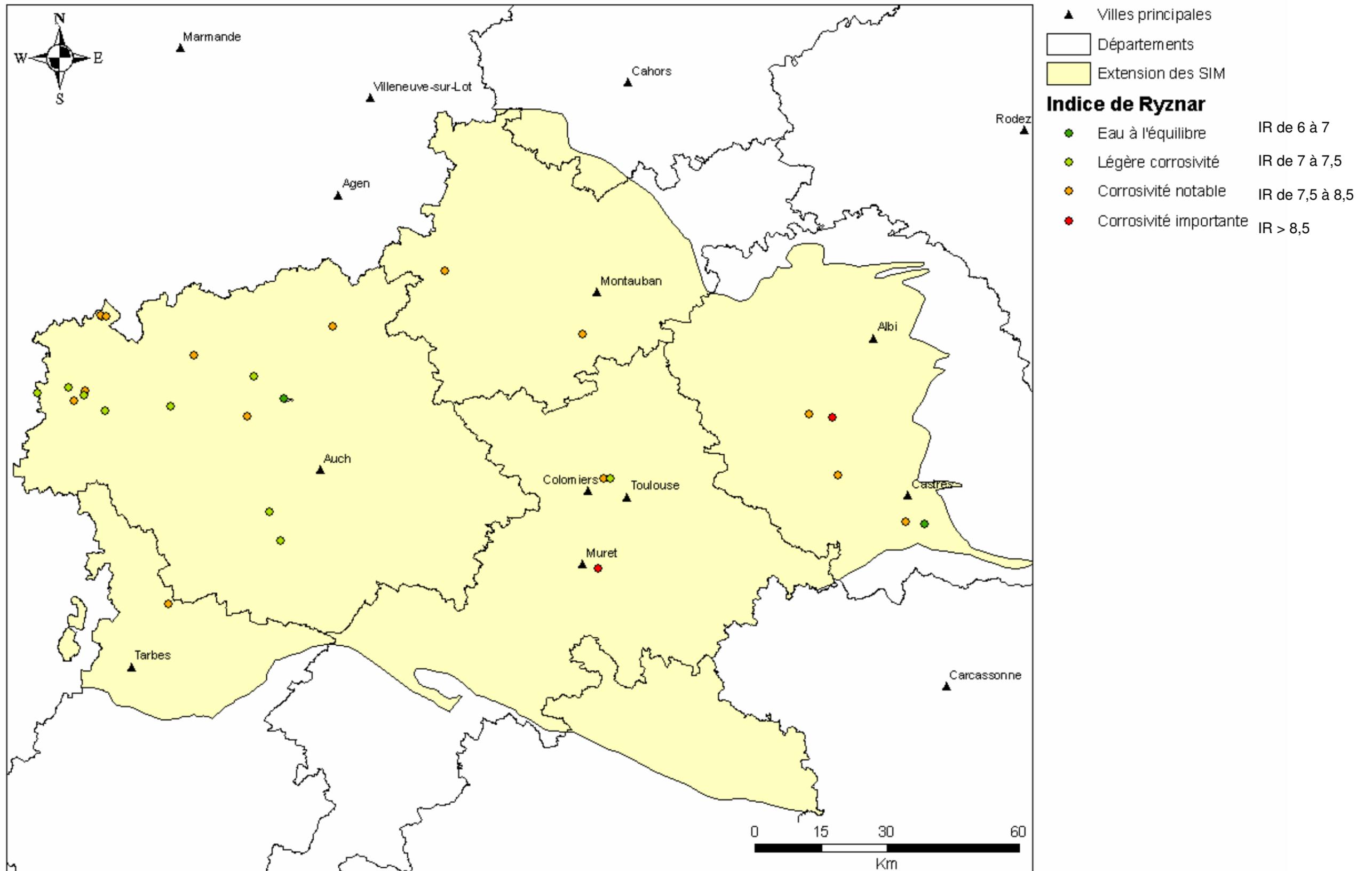
Annexe 24

Calcul des températures des eaux des SIM



Annexe 25

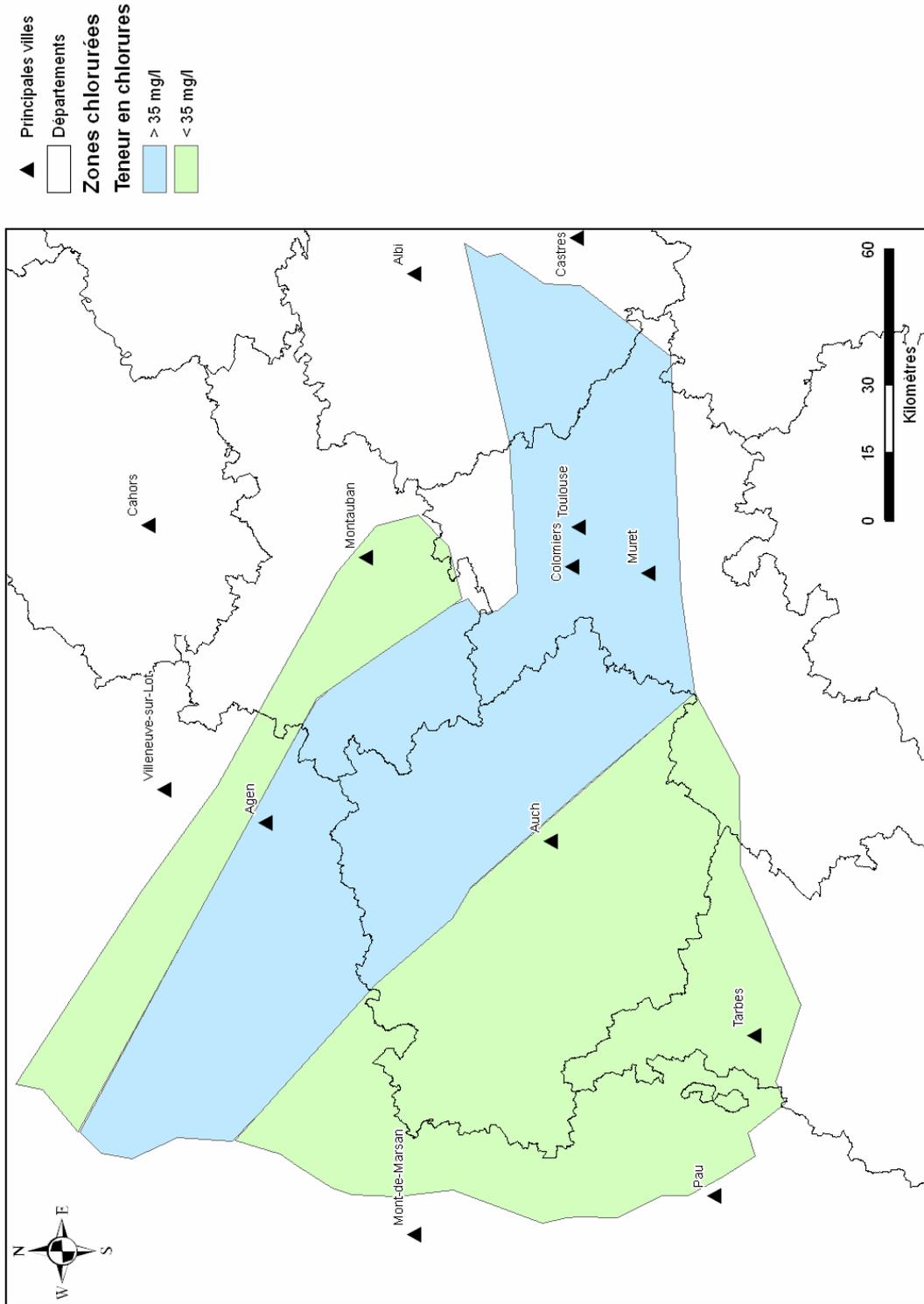
Calcul des Indices de Ryznar sur les points captant les SIM



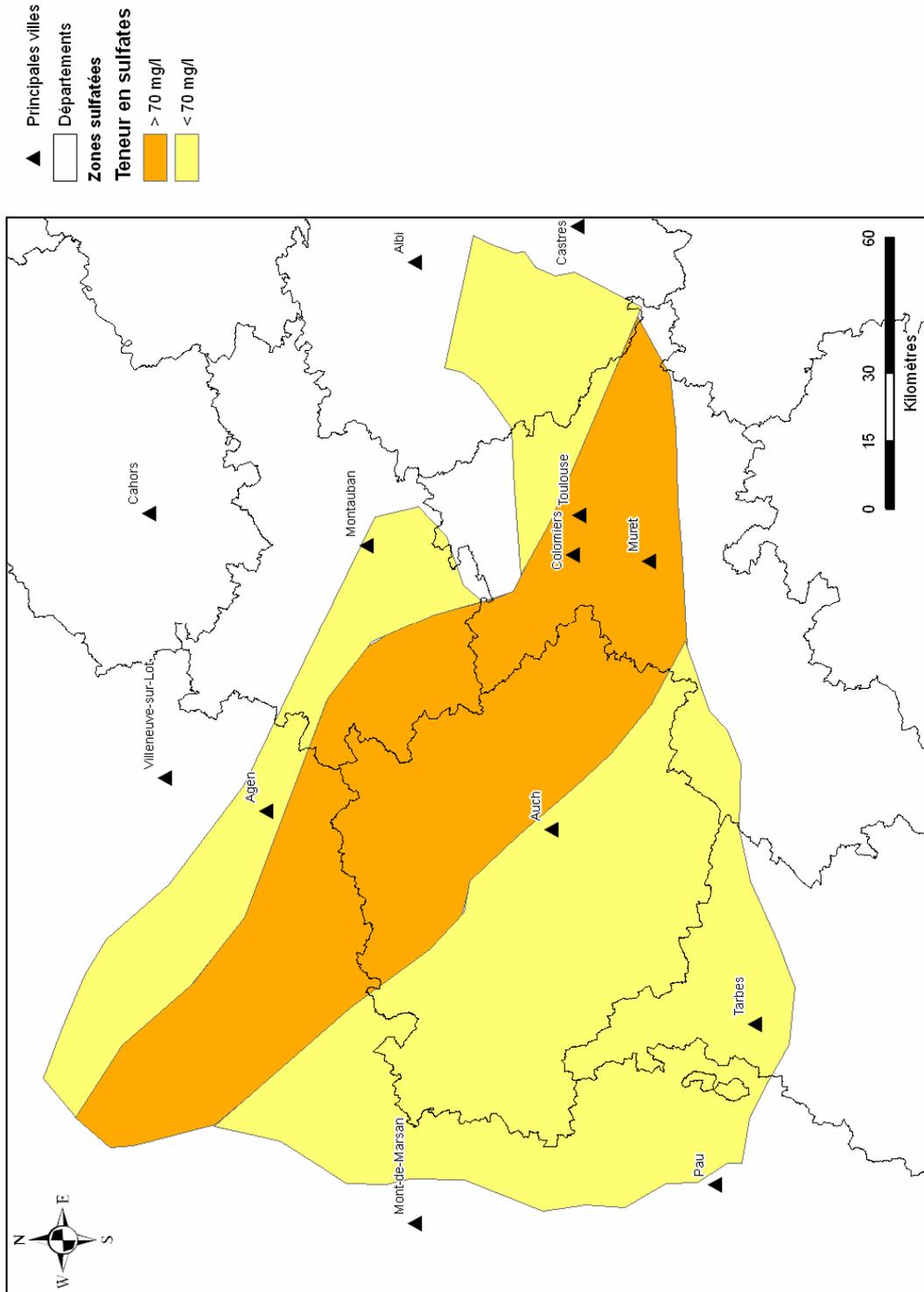
Annexe 26

Zones géochimiques des Sables Infra-Molassiques (données issues de la thèse de L. André)

ANNEXE 26a : Localisation de la zone à fortes teneurs en chlorures



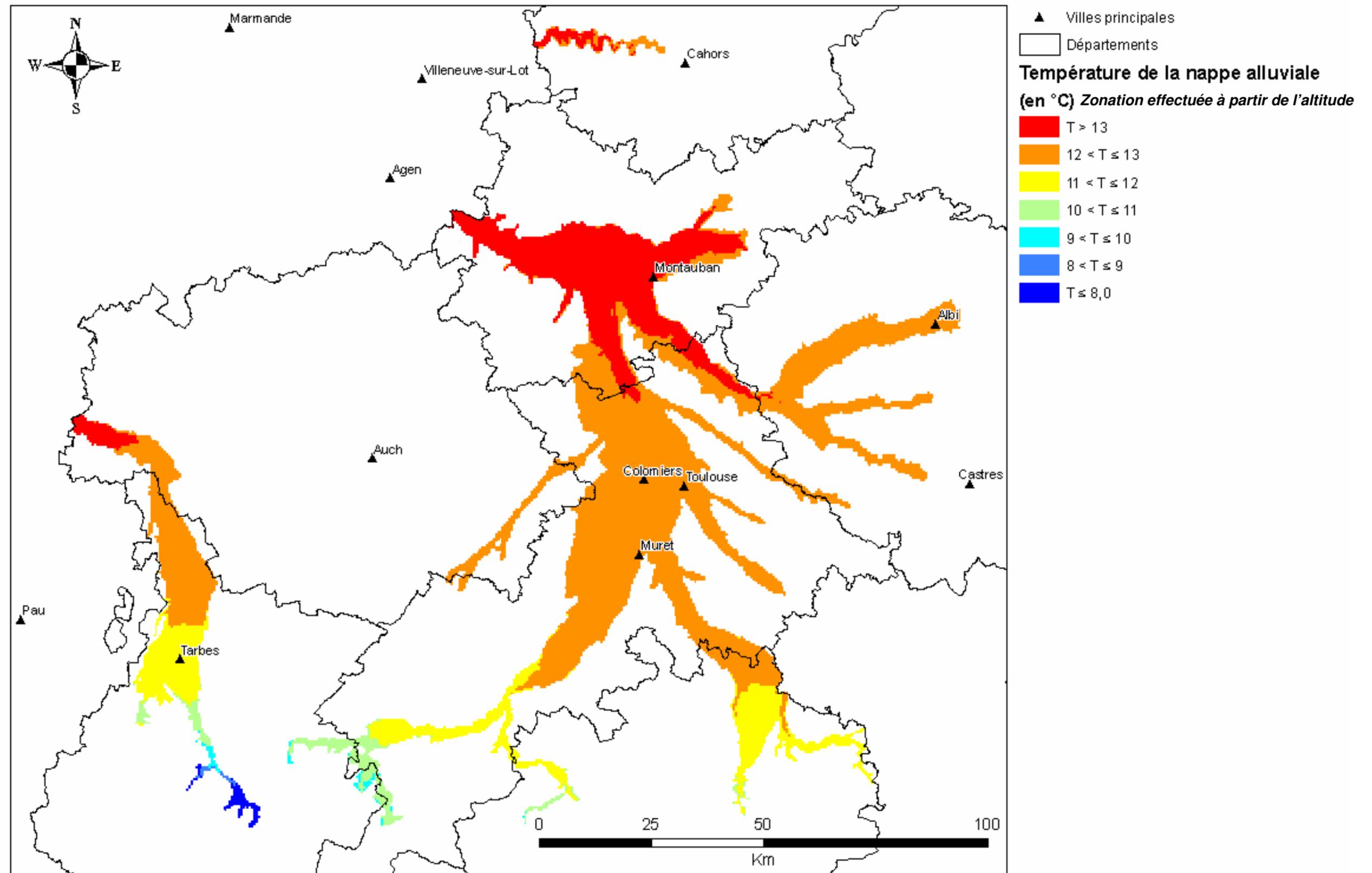
ANNEXE 26b : Localisation de la zone à fortes teneurs en sulfates



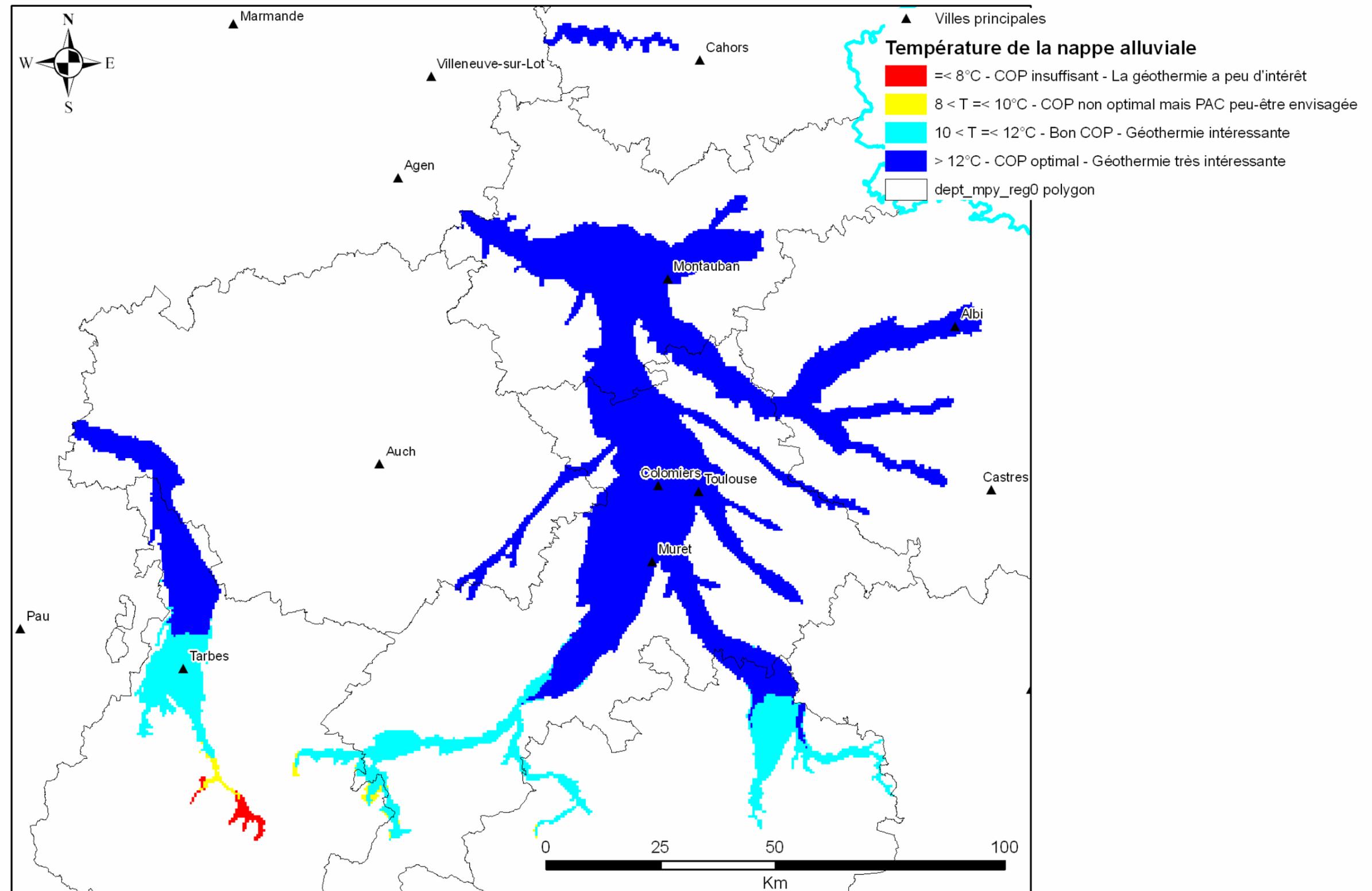
Annexe 27

Caractérisation de la température des eaux de nappe alluviale

ANNEXE 27a : Classes de température des eaux de nappes alluviales, déterminées à partir de l'altitude

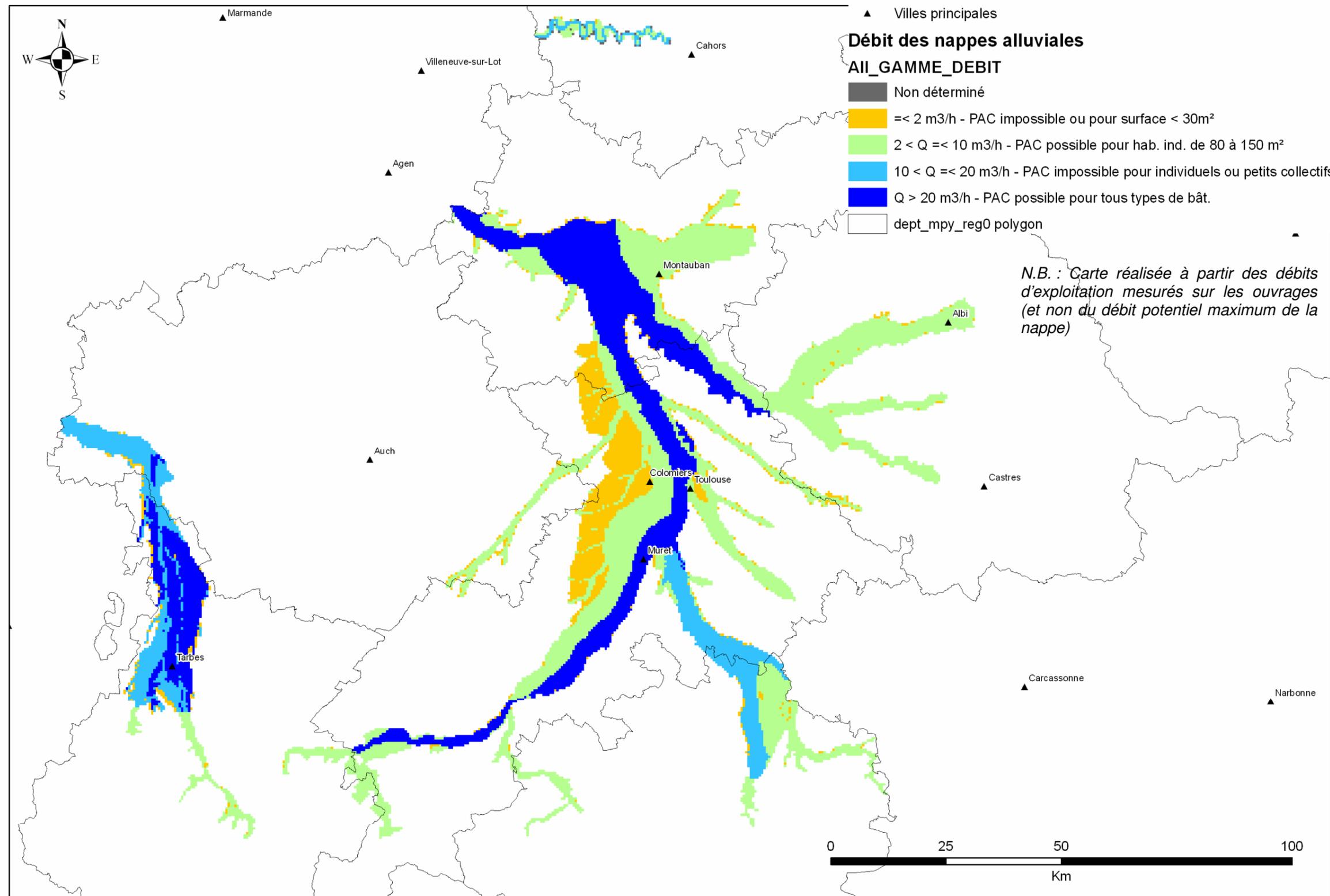


ANNEXE 27b : Classes de température des eaux de nappes alluviales et correspondance avec le COP des PAC Eau/Eau



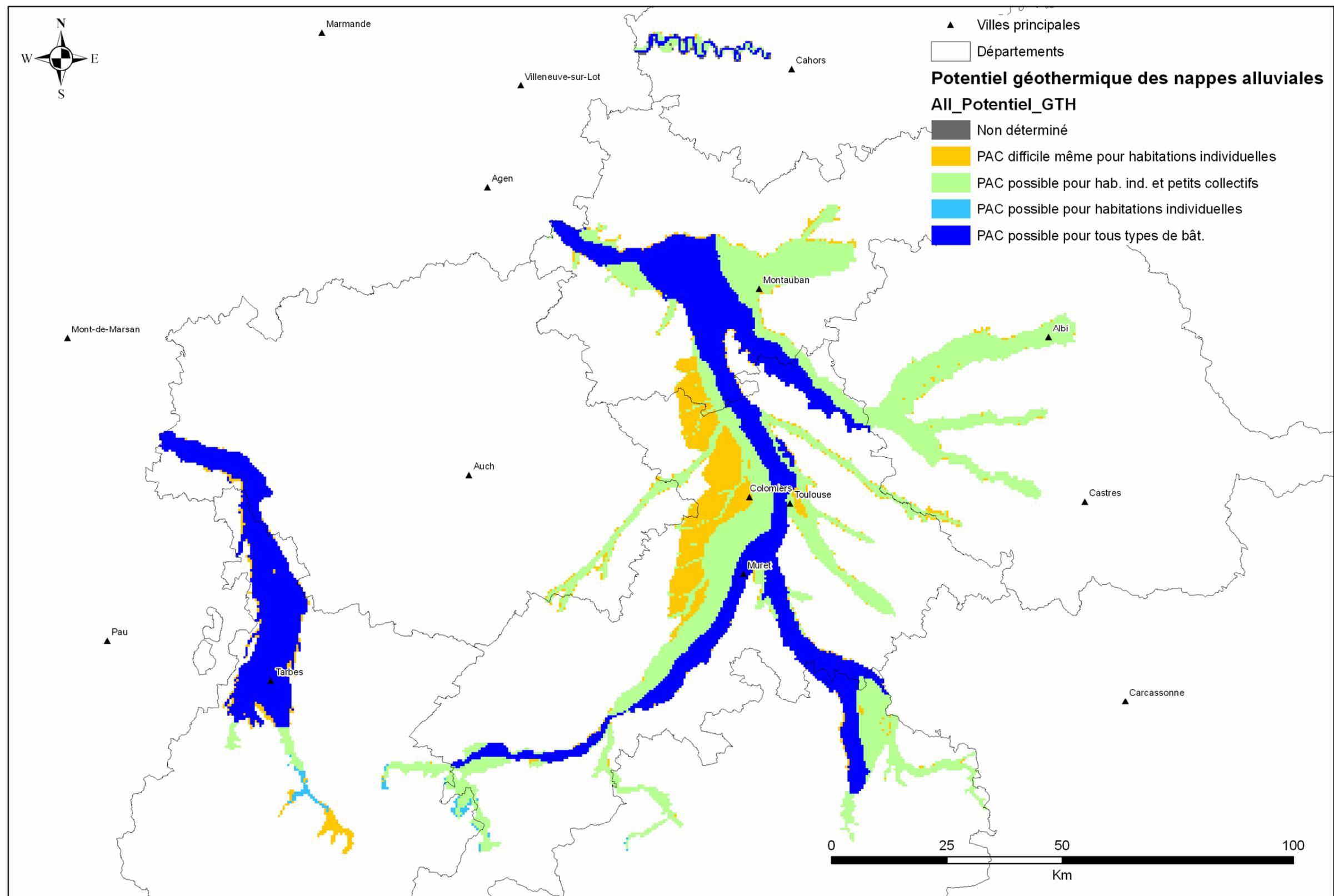
Annexe 28

Classes des débits d'exploitaton potentiel des nappes alluviales



Annexe 29

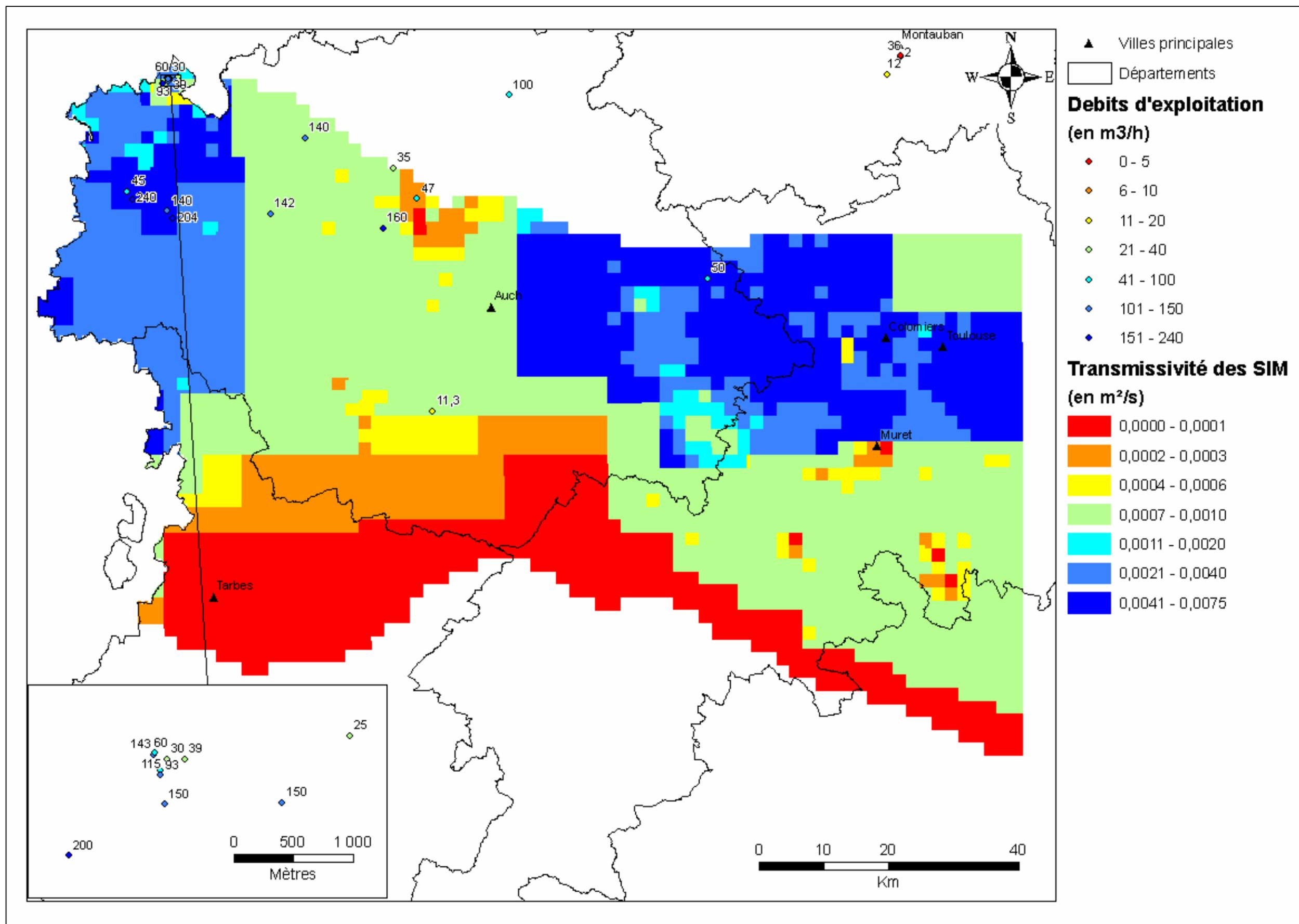
Potentiel géothermique des nappes alluviales de Midi-Pyrénées



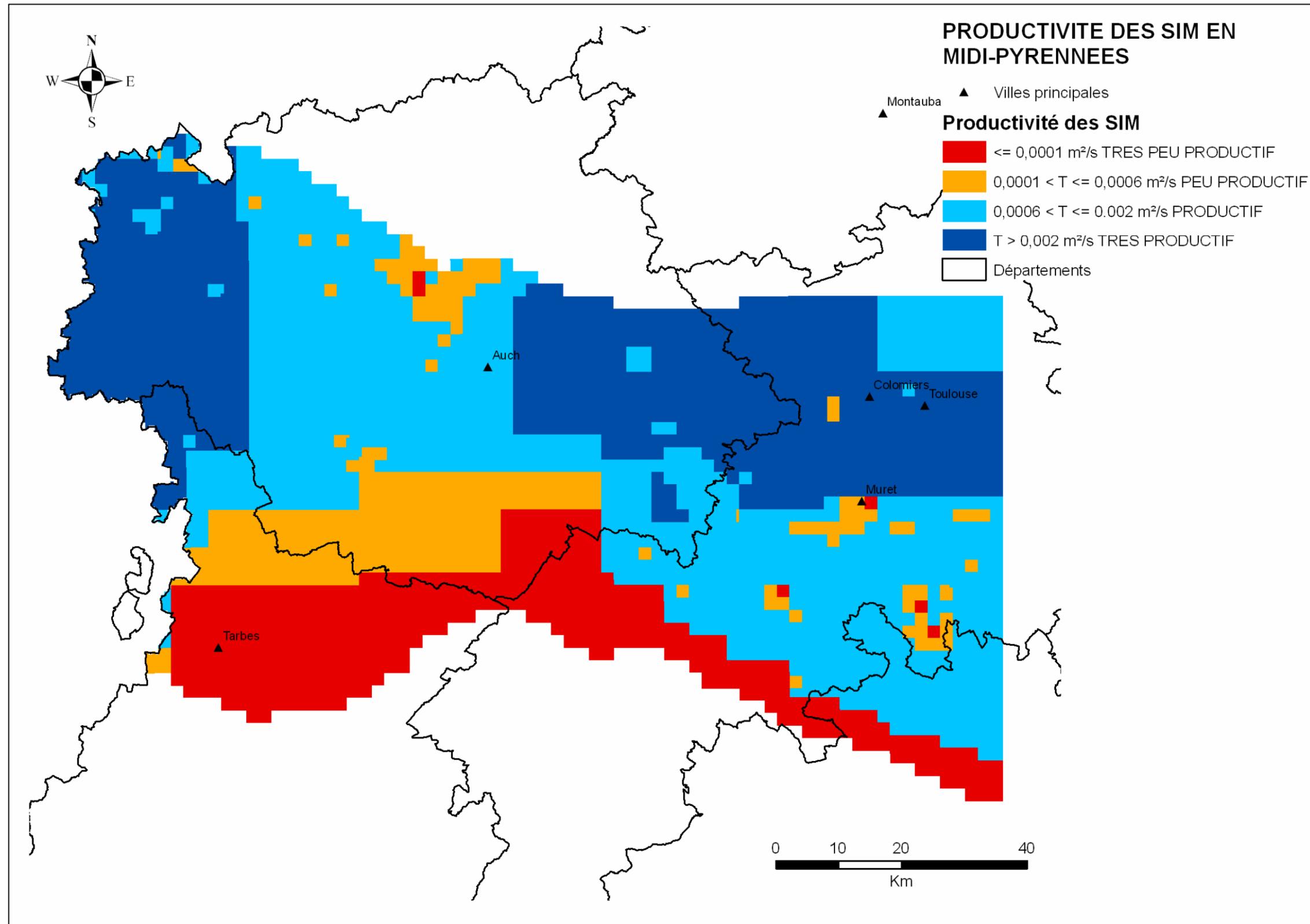
Annexe 30

Carte de productivité de l'aquifère des SIM (transmissivités interpolées et débits ponctuels)

ANNEXE 30a : Classes de transmissivité des SIM et valeurs ponctuelles de débits d'exploitation recensées



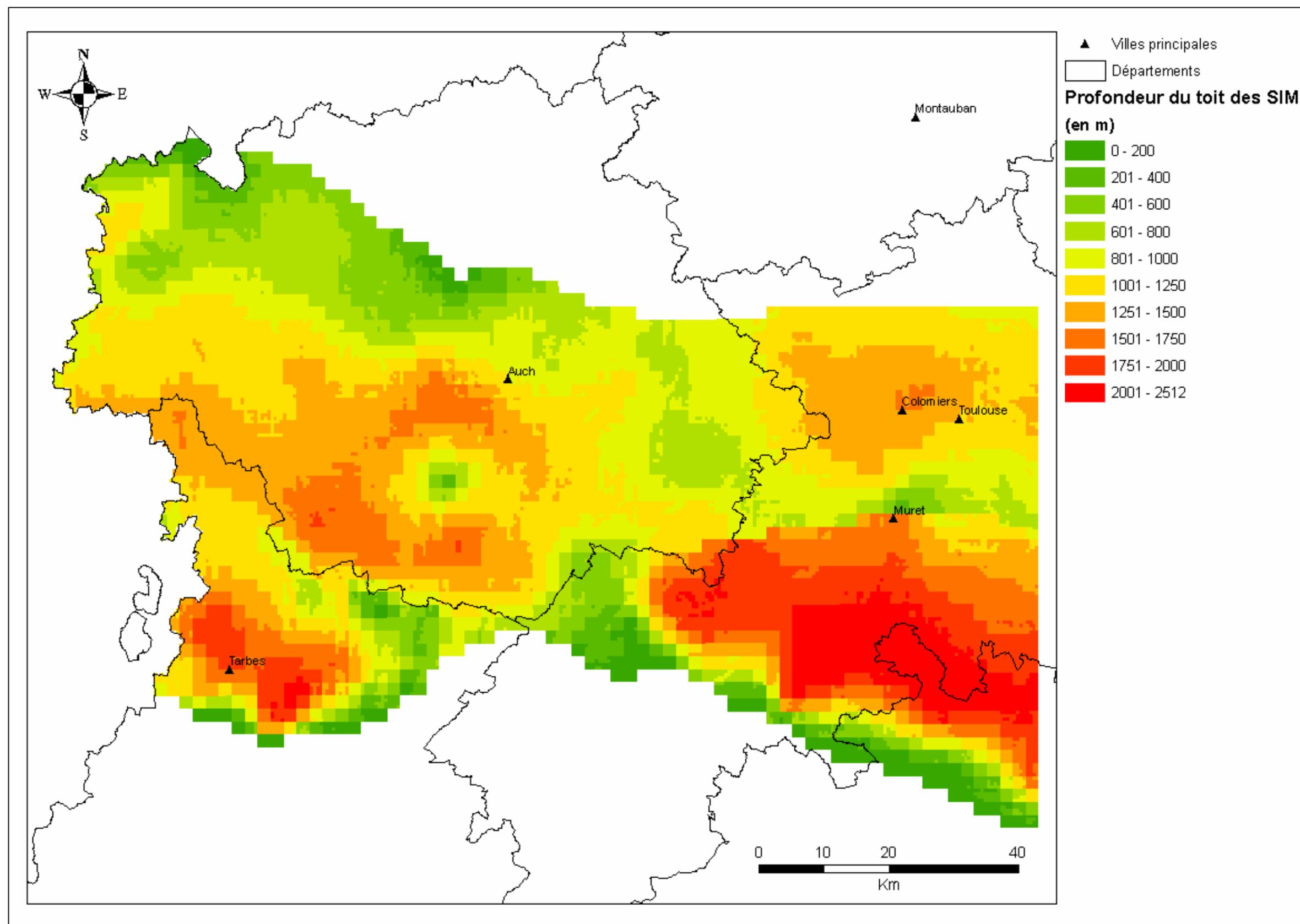
ANNEXE 30b : Classes de transmissivité des SIM et traduction en termes de productivité attendue



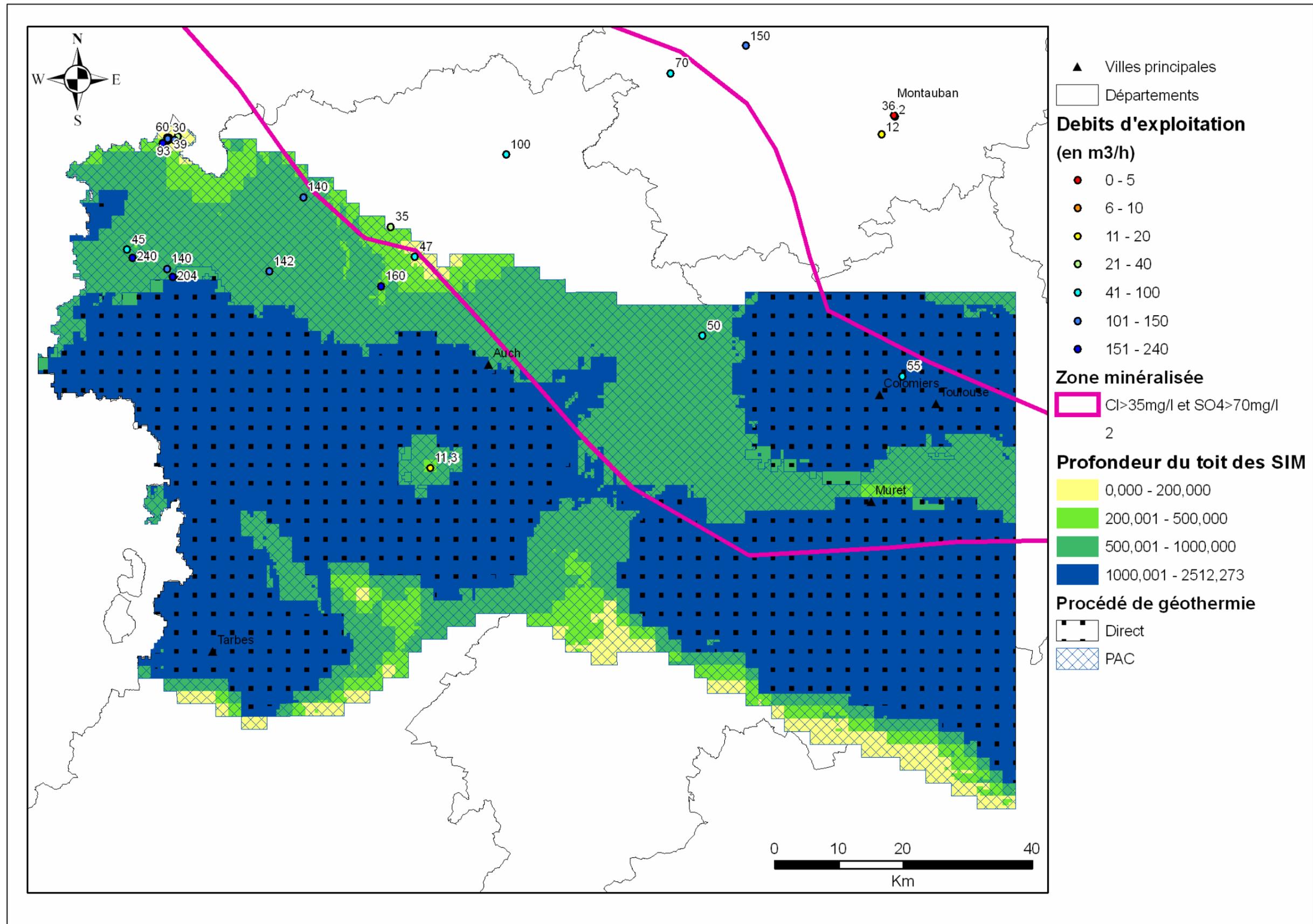
Annexe 31

Profondeur du toit des SIM

ANNEXE 31a : Classification de la profondeur du toit des SIM par rapport au sol (10 classes)

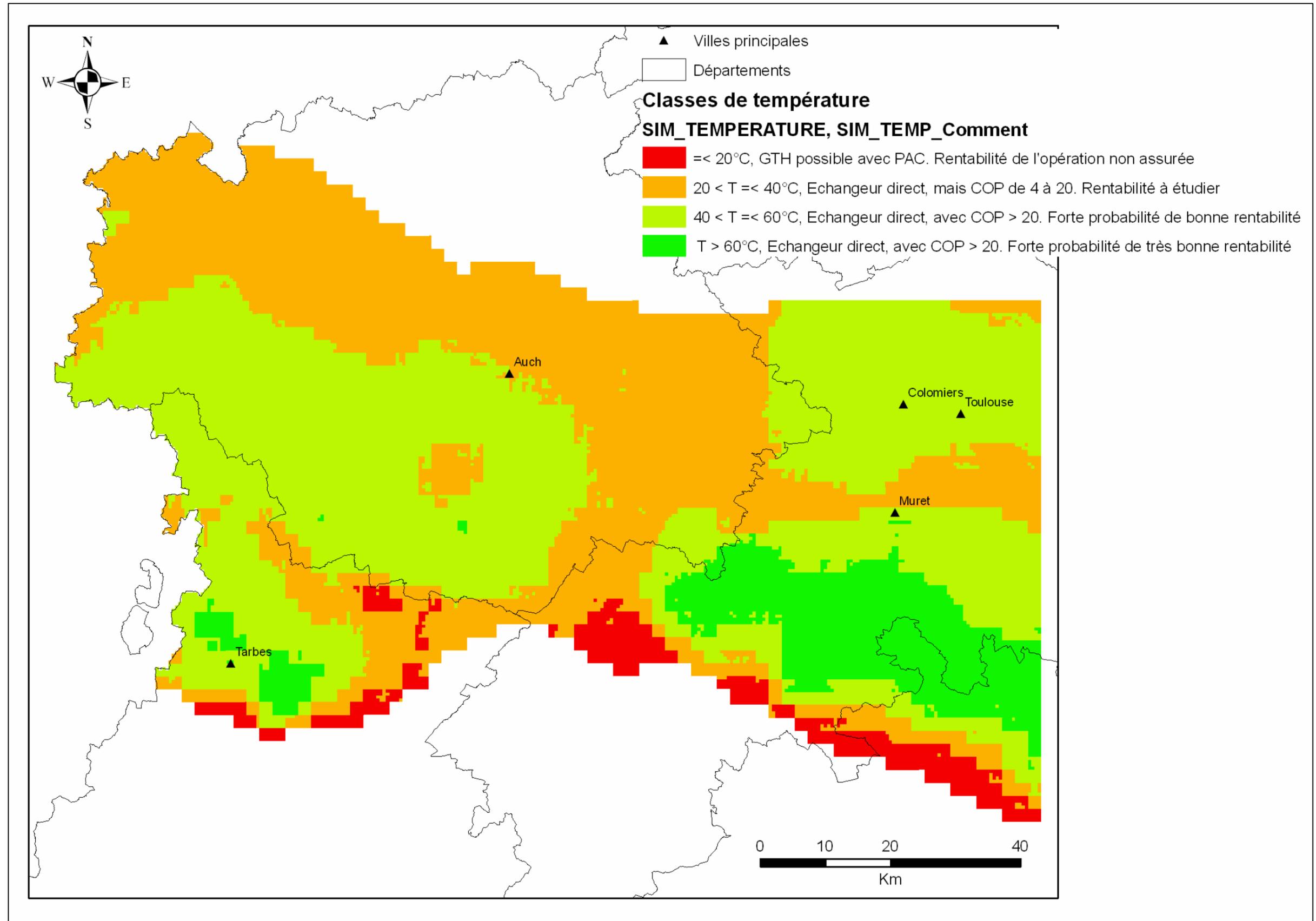


ANNEXE 31b : Classification de la profondeur du toit des SIM par rapport au sol (4 classes), valeurs ponctuelles de débits d'exploitation et zone de forte minéralisation



Annexe 32

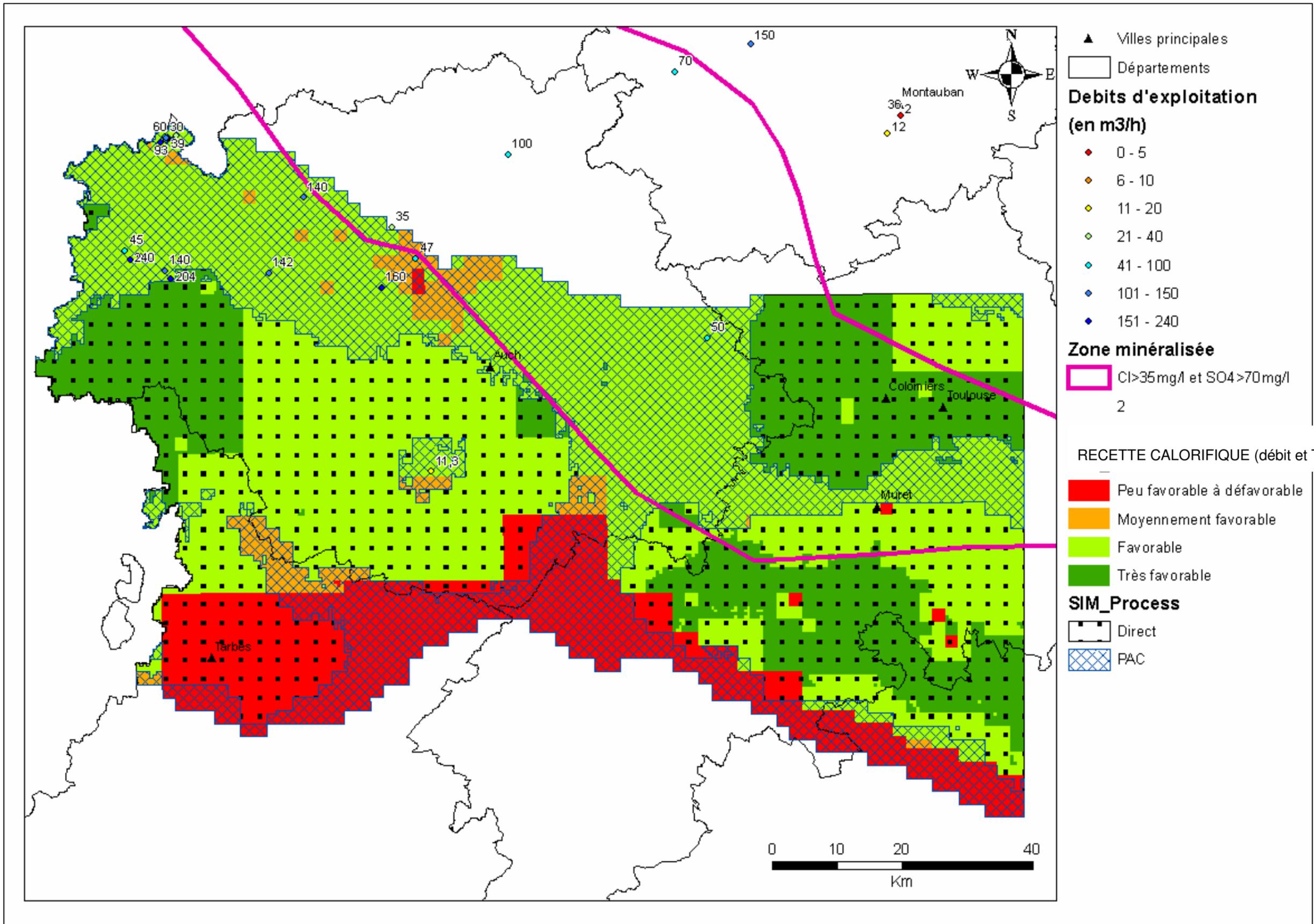
Classes de température des eaux des SIM



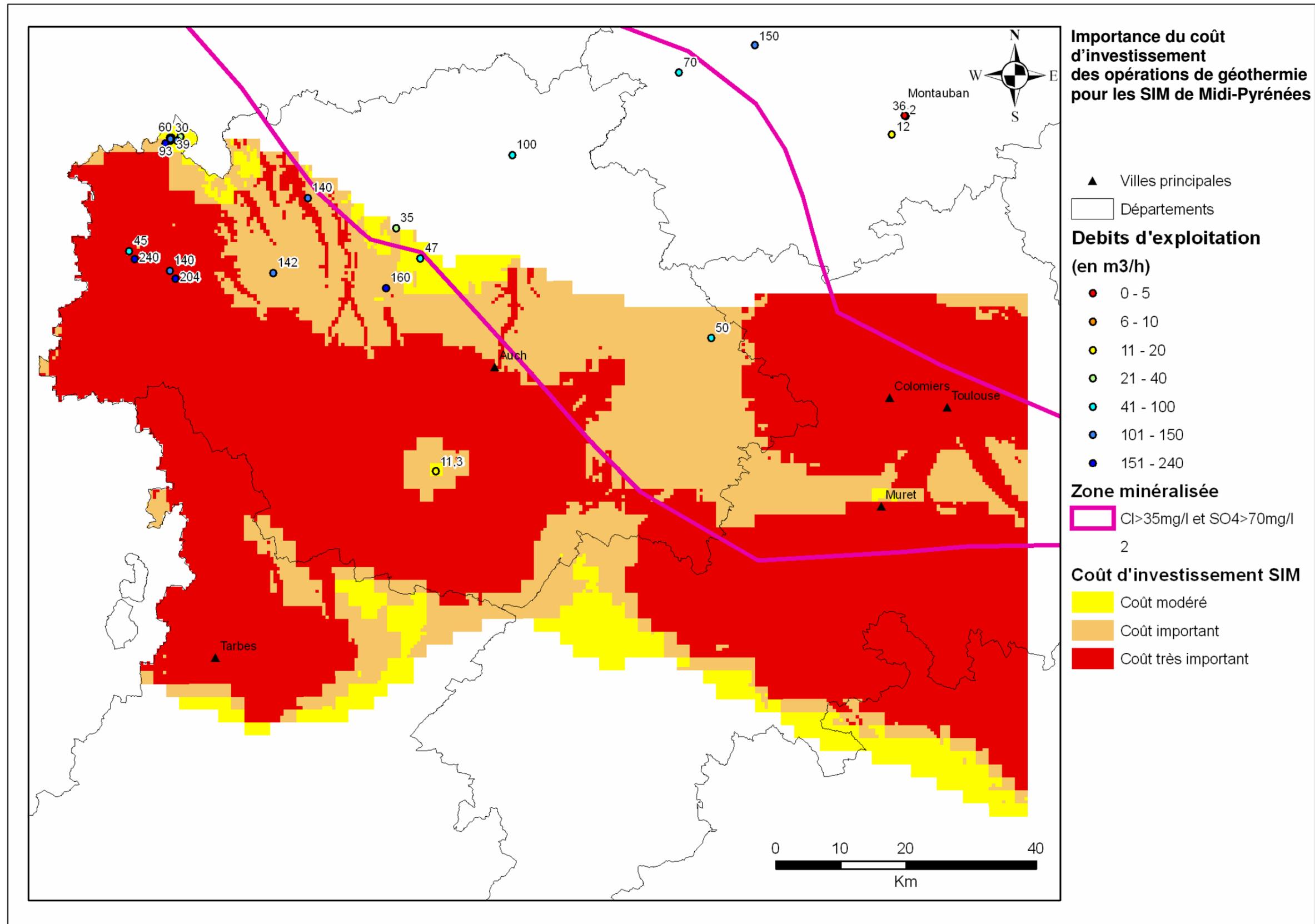
Annexe 33

Potentialités géothermiques de la nappe des SIM dans la région Midi-Pyrénées

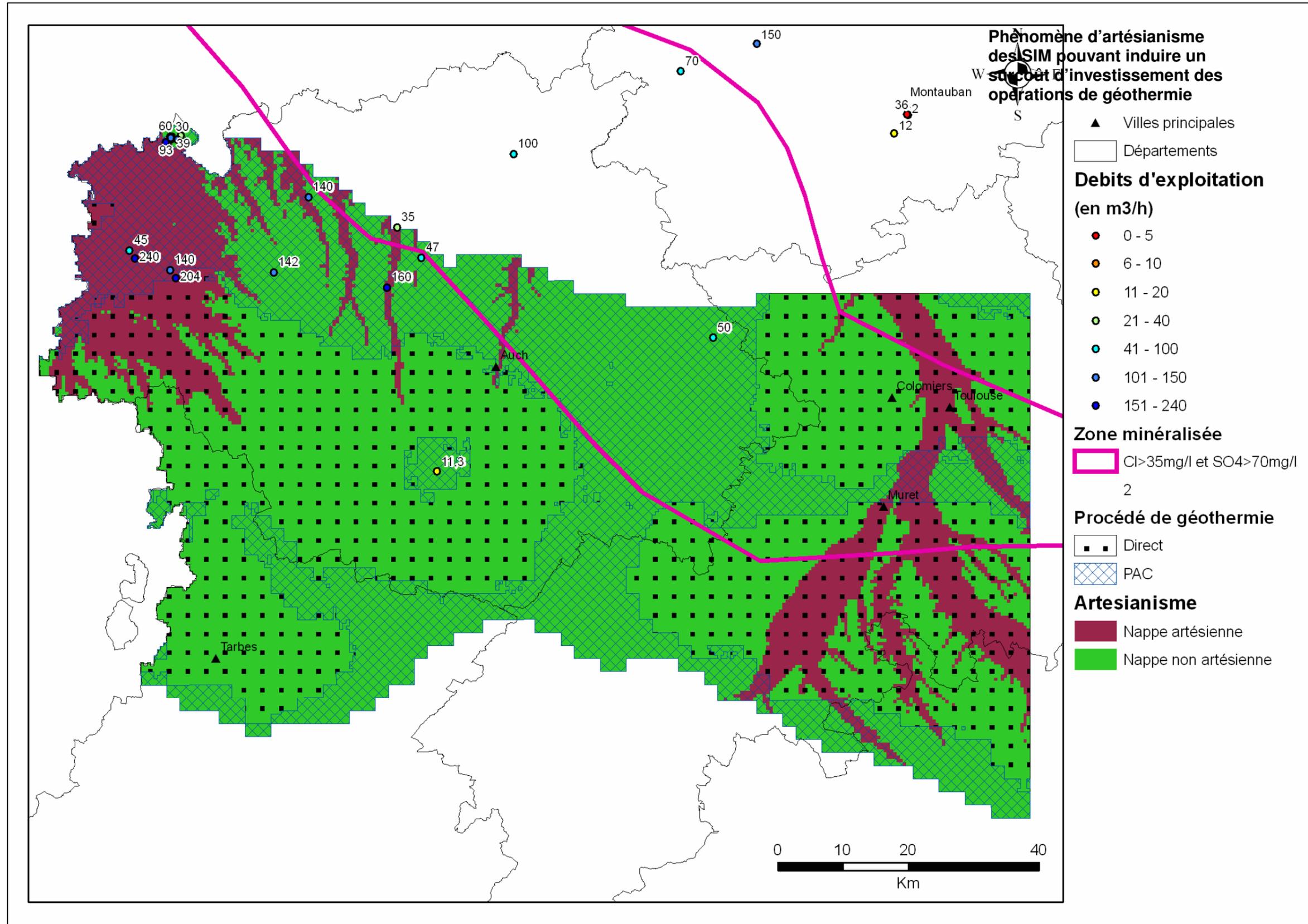
ANNEXE 33a



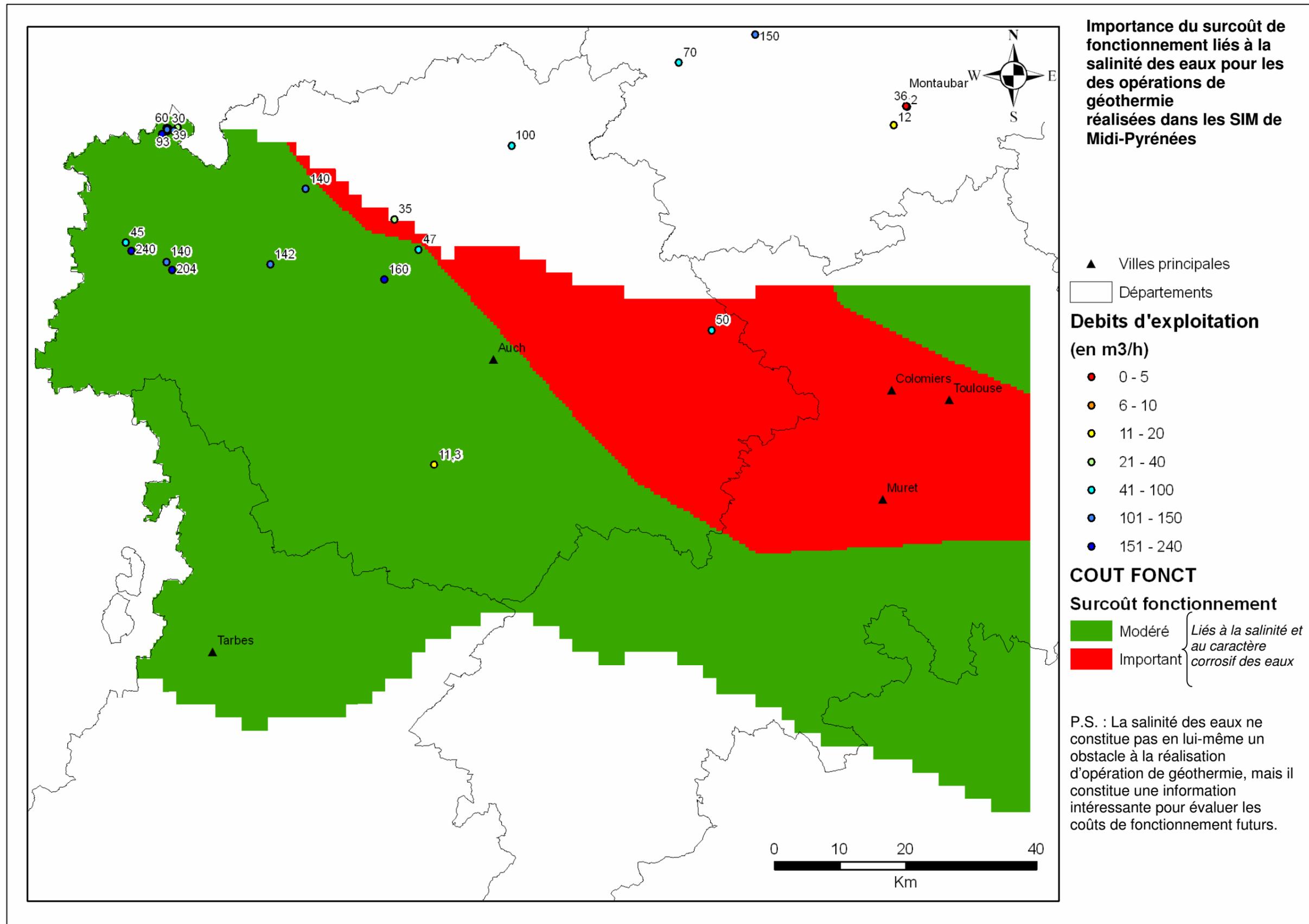
ANNEXE 33b



ANNEXE 33c



ANNEXE 33d





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009

45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Midi-Pyrénées

3 rue Marie Curie Bât ARUBA
BP 49

31 527 – RAMONVILLE ST AGNE - France
Tél. : 05 62 24 14 50