Gestion des systèmes aquifères alluviaux dans le bassin Adour-Garonne

Modélisation de la nappe alluviale de la Garonne dans le département de Haute-Garonne

Rapport final – Année 2

BRGM/RP-56490-FR
Juin 2008

EPTB Garonne
Syndicat Mixte d'Études et d'Aménagement de la Garonne

REPUBLIQUE FRANCAISE
Liberté Egalité Fraternité
PREFECTURE DE LA HAUTE-GARONNE
MISSION INTER SERVICES DE L'EAU
Direction Départementale de l'Equipement
Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
Direction Régionale de l'Environnement
MIDI-PYRÉNÉES
BASSIN ADOUR-GARONNE

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Document public

Gestion des systèmes aquifères alluviaux dans le bassin Adour-Garonne

Modélisation de la nappe alluviale de la Garonne dans le département de Haute-Garonne

Rapport final – Année 2

BRGM/RP-56490-FR
Juin 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 06EAUF29

M. Ghyselinck-Bardeau

Vérificateur :	Approbateur :
Original signé par M. Saplairoles	Original signé par P. Roubichou

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

I

M 0

Mots clés : aquifères, nappe alluviale, gestion de la ressource, piézométrie, modélisation, base de données, réseau, géologie

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

GHYSELINCK-BARDEAU M., 2008 – Gestion des systèmes aquifères alluviaux dans le bassin Adour-Garonne : Modélisation de la nappe alluviale de la Garonne dans le département de la Haute-Garonne – Rapport final – Année 2. Rapport BRGM/RP-56490-FR, 27 p., 24 ill., 5 annexes.

© BRGM, 2008, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La modélisation hydrodynamique de la nappe alluviale de la Garonne est réalisée à la demande de la Mission InterService de l'Eau de Haute-Garonne pour améliorer les gestions des autorisations de prélèvements liés à l'irrigation. Cette étude, débutée en juin 2006, est programmée sur trois ans. Les partenaires techniques et financiers du projet sont pour l'année 2, la MISE 31, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et le BRGM.

La première année du projet de modélisation de la nappe alluviale de la Garonne dans le département de Haute-Garonne a débuté par une analyse bibliographique permettant d'améliorer la connaissance de la géologie, et le fonctionnement hydrogéologique du secteur.
Ces informations ont été complétées par des acquisitions de données sur le terrain, permettant de réaliser des cartes piézométriques et physico-chimiques, ainsi que des suivis en continu de la piézométrie et du niveau de la Garonne.

Lors de cette première année du projet, la structure du modèle hydrodynamique a été construite en y injectant l'ensemble des couches maillées permettant de définir le système, à savoir :

- le relief du substratum de l'aquifère,
- la topographie,
- les prélèvements et débits d'alimentation,
- les perméabilités,
- les infiltrations et recharges,
- les données relatives aux cours d'eau.

Des premiers essais de calages ont été réalisés. Les résultats travaux réalisés au cours de l'année 1 du projet sont disponibles dans le rapport RP-55877-FR.

Les objectifs de l'année 2 étaient de poursuivre les mesures piézométriques sur les 16 points suivis, ainsi que les mesures du niveau d'eau de la Garonne sur les 5 sites identifiés. Ces données sont en effet indispensables au calage du modèle en régime transitoire. L'année 2 devait également permettre d'améliorer le calage du modèle en régime permanent. Pour cela, une carte piézométrique des moyennes eaux a été réalisée.

Les résultats des derniers essais de calage ont permis de mettre en évidence plusieurs difficultés :

- Pour 95 % des points, les écarts entre valeurs calculées et observées sont inférieurs à 2 m, mais quelques points anormaux perturbent le calage,

- Le nombre de mailles dénoyées et en débordement et très important. Bien que ces mailles traduisent des phénomènes naturels, leur nombre empêchent la bonne convergence du modèle et augmente le temps de calcul.

Ces débordements et dénoyage sont essentiellement dus à la faible épaisseur des alluvions, aux discontinuités hydrauliques entre terrasses et à l'affleurement des formations molassiques. Une partie des problèmes pourrait être résolue en créant un modèle bicouche.

La 3ème et dernière année du projet devra permettre la finalisation du calage en régime permanent, la poursuite des mesures piézométriques et hydrométriques permettant le calage du modèle en régime transitoire. Les résultats du modèle seront ensuite exploités pour l'élaboration de l'outil de gestion des prélèvements.

Sommaire

1. Contexte 7

1.1. CONTEXTE GENERAL 7

1.2. SYSTEMES ALLUVIAUX 7

1.2.1. Généralités 7

1.2.2. Problématique de la nappe alluviale de la Garonne 8

2. Objectifs de l'étude 11

3. Acquisition de données de terrain en continu 13

3.1.1. Chroniques piézométriques 13

3.1.2. Suivi du niveau des rivières 15

4. Poursuite du calage du modèle en régime permanent 17

4.1. METHODE UTILISEE POUR LE CALAGE 17

4.2. CONSTUCTION D'UNE CARTE PIEZOMETRIQUE MOYENNE ENTRE BASSES EAUX ET HAUTES EAUX 18

4.3. RESULTATS DES DERNIERS ESSAIS DE CALAGE 18

5. Conclusion 25

6. Bibliographie 27

Liste des illustrations

Illustration 1 – Liste des points du réseau quantitatif patrimonial utilisables pour le calage du modèle en régime transitoire 13

Illustration 2 – Liste des ouvrages équipés de sondes pressiométriques avec enregistreurs 14

Illustration 3 – Localisation des piézomètres suivis en continu dans le cadre de l'étude 15

Illustration 4 – Liste des stations hydrométriques sur cours d'eau suivies par la DIREN dans le secteur d'étude 16

Illustration 5 – Liste des points en rivière suivis manuellement par le BRGM 16

Illustration 6 : schéma de la méthode utilisée pour le calage en régime permanent. 17

Illustration 7 – Semis des charges calculées par le modèle en régime permanent 19

Illustration 8 – Piézométrie calculées comparée à la piézométrique moyenne observée 20

Illustration 9 – Calcul des épaisseurs d'eau calculées et mise en évidence (rouge) des mailles quasi-dénoyées 21

Illustration 10 – Semis de l'épaisseur de la zone non-saturée calculée et mise en évidence (rouge) des mailles de débordement 22

Illustration 11 – Diagramme de dispersion entre charges calculées te observ ées 24

Illustration 12 – Statistiques sur les écarts de valeurs entre charges calculées et observées 24

Liste des annexes

Annexe 1 Chroniques piézométriques enregistrées en continu sur 16 points d'eau 29

Annexe 2 Chroniques piézométriques mesurées sur les points d'eau du réseau patrimonial 32

Annexe 3 Cartes des points de suivi manuel du niveau de la Garonne 34

Annexe 4 Chroniques du niveau d'eau de la Garonne (mesures manuelles) 37

Annexe 5 Carte piézométrique moyenne de l'année hydrologique 2006-2007 41

1. Contexte

1.1. CONTEXTE GENERAL

Les aquifères alluviaux du bassin Adour-Garonne constituent des réservoirs économiquement importants d'autant qu'ils sont quasiment tous situés dans les « zones de répartition des eaux superficielles et souterraines » dans lesquelles les seuils d'autorisation sont abaissés à huit (8) m^3/h. Dans ces conditions, la moindre ressource devient importante et doit être finement gérée entre les exigences de gestion des débits d'étiage et les enjeux économiques; AEP, irrigation, eau industrielle…

Par ailleurs, l'activité anthropique actuelle ou historique impose par exemple de savoir estimer les effets sur le milieu naturel de sources diffuses de polluants potentiels (miniers, agricoles,…) ou ponctuelles (sites industriels, voiries, bâtis urbains,…). D'une manière générale, le devenir dans la nappe des eaux d'infiltration et des éléments qu'elles sont susceptibles d'y entraîner constitue un souci croissant.

Les différentes terrasses alluviales contiennent des aquifères libres ou des aquifères alluviaux proprement dit susceptibles d'être hydrauliquement interconnectées entre elles et au final avec le cours d'eau. La connaissance de leur fonctionnement en vue de leur préservation et de leur gestion implique de mettre en œuvre une modélisation des ressources. Celle ci est proposée à partir de la mise en place d'un modèle mathématique de nappe permettant d'une part une utilisation des réserves souterraines équitable entre les utilisateurs, dans le respect d'un développement durable et d'autre part, d'apprécier les impacts directs (rejets) ou indirects (ruissellement – mobilisation et concentration de polluants - infiltration) de l'activité humaine sur la ressource en eau.

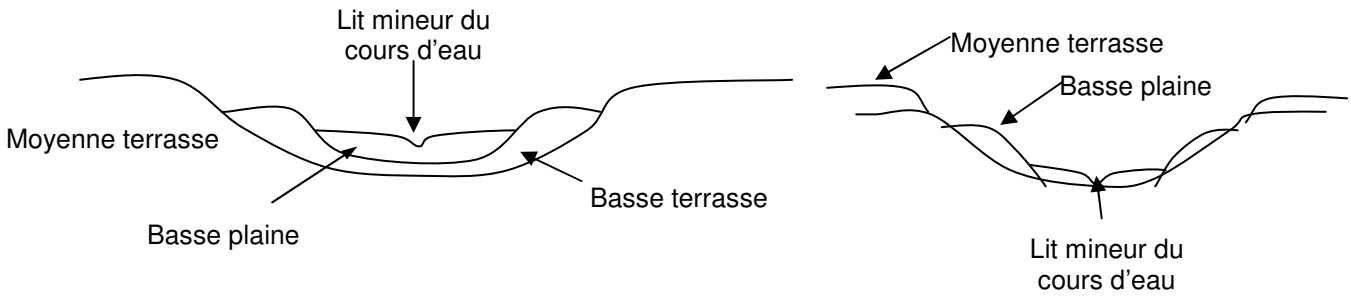
1.2. SYSTEMES ALLUVIAUX

1.2.1. Généralités

Les systèmes alluviaux sont caractérisés par une structuration en glacis et terrasses. L'enfoncement progressif des cours d'eau entraîne l'échelonnement de plusieurs terrasses, d'autant plus anciennes que leur altitude relative mesurée au-dessus du lit actuel est élevée. Apparaissent successivement des coteaux vers le cours d'eau : le plateau couvert d'alluvions déposées avant le creusement des vallées, la haute terrasse, la moyenne terrasse, la basse terrasse, la basse plaine ou plaine alluviale moderne inondable.

Deux grands types de terrasse sont distingués :

- les terrasses de type emboîté symétrique et asymétrique,
- les terrasses de type étagé symétrique et asymétrique.



Terrasses emboîtées **Terrasses étagées**

Généralement, seule la basse plaine est en relation hydraulique réciproque avec le cours d'eau. D'un point de vue hydrogéologique, les aquifères alluviaux ont été définis ainsi :

- aquifère discontinu à surface libre. Exemple : les hautes, moyennes et basses terrasses de la Garonne, du Tarn, et de l'Ariège,
- aquifère alluvial proprement dit, enclavé dans des formations non aquifères et subordonné à un cours d'eau allogène. Exemple : les basses plaines des différentes vallées alluviales, sauf une partie des basses plaines de la Garonne amont séparée du cours d'eau par un bourrelet molassique.

1.2.2. Problématique de la nappe alluviale de la Garonne

Géologie / Hydrogéologie

Le secteur de la plaine alluviale de la Garonne, de l'amont à la commune de Grenade, présente une superficie de mille trois cent cinquante (1350) km² environ. Cette plaine s'étire selon un axe ouest-est à l'amont, puis nord-sud sur environ cent vingt (120) km de long et un maximum de vingt (20) km de large.

La morphologie de la plaine date du Quaternaire où les dépôts alluviaux se sont organisés en quatre (4) niveaux de terrasses reposant sur un substratum molassique oligo-miocène, de faible pendage et de faciès argilo-calcaire entrecoupé de lentilles sableuses.

Dans la vallée de la Garonne, la moyenne terrasse et la basse terrasse sont séparées par un bourrelet molassique (le plus souvent dissimulé sous des colluvions de pente) provoquant l'apparition de sources de déversement. Cependant, il n'est pas exclu qu'il puisse exister une continuité hydraulique entre les alluvions de la moyenne terrasse et de la basse terrasse dans certains secteurs de la zone d'étude.

Les terrasses les plus âgées (hautes et moyennes terrasses), situées aux altitudes les plus élevées, ont subi une altération beaucoup plus poussée que les formations récentes et présentent ainsi une fraction argileuse très importante réduisant la perméabilité et la transmissivité des aquifères.

Leurs nappes sont donc morcelées et colmatées, par opposition aux terrasses récentes de la Garonne où se développent des nappes libres et continues de grande extension.

Besoins / Ressources

L'agriculture tient une place importante dans les activités économiques du département de la Haute-Garonne, et constitue un usage induisant des prélèvements importants d'eaux de surface et souterraines dont les relations doivent être précisées.

La planche jointe en annexe 1, montre que de nombreux puits d'exploitation sont situés dans la basse terrasse, la basse plaine et les alluvions récentes de la Garonne. Ces prélèvements, particulièrement importants en période estivale pour l'arrosage des cultures et des jardins particuliers, sont autant de volumes d'eau soustraits aux rivières pour le soutien de leur débit d'étiage.

Les systèmes aquifères libres de cette plaine sont cernés à l'amont par des limites étanches constituées de formations molassiques imperméables et sont drainés en aval par les grandes rivières (Ariège, Garonne, Hers). L'encaissement des cours d'eau dans le substratum molassique sous-jacent induit un phénomène de drainage de la nappe quasi univoque, en limitant fortement la réalimentation de celle-ci par les eaux de surface en période de crue. L'alimentation des nappes est donc restreinte à la pluviométrie (et dans une moindre mesure, au déversement des nappes des terrasses sus-jacentes), ce qui rend le potentiel de recharge de ces nappes particulièrement sensible aux variations climatiques annuelles.

Enfin, si globalement les valeurs de transmissivité mesurées augmentent lorsque l'âge des formations alluviales diminue, il subsiste cependant de fortes disparités influant sur la productivité des ouvrages d'eau.

Activité anthropique et impact sur le milieu

Une mise à jour et un approfondissement des connaissances sur le fonctionnement des aquifères alluviaux au sein des grands ensembles géologiques est par ailleurs incontournable pour :

- d'une part répondre aux besoins globaux et régionaux de gestion environnementale et d'aménagement du territoire,
- d'autre part fournir des informations publiques constituant les éléments de base à intégrer et utiliser dans le cadre de problématiques localisées tels que des travaux d'expertises, des études d'impacts, des évaluations simplifiées ou détaillées de risques,…

Il paraît donc nécessaire de disposer de connaissances et de moyens dont la valorisation doit permettre aussi bien de gérer l'utilisation de la ressource en eaux souterraines que sa préservation. L'objectif est de répondre, aussi bien, mais dans des cadres et avec des mises en œuvre différentes, à des problématiques générales à l'échelle du bassin versant que locale à l'échelle de l'étude d'impact.

2. Objectifs de l'étude

En avril 1997, le BRGM a achevé une étude en Tarn-et-Garonne concernant la connaissance et l'évaluation des principaux aquifères de ce département. Cette étude a permis de fournir aux services chargés de la police des eaux (MISE 82) les éléments et les outils nécessaires pour assurer la gestion des ressources disponibles et traiter au mieux les autorisations de prélèvements.

Pour cela, une modélisation de la nappe a été réalisée en régime hydraulique permanent, sur la base des données collectées en 1996, année considérée comme moyenne.

Dans un souci d'amélioration de cet outil de gestion et notamment de l'évaluation de la ressource et de sa capacité de recharge, une seconde étude a permis de construire un modèle hydrodynamique en régime transitoire puis un outil de gestion des prélèvements agricoles. Cet outil tenant compte de la variabilité climatique, il permet d'assurer une certaine flexibilité vis à vis des autorisations de prélèvement.

En s'appuyant sur l'expérience acquise en Tarn-et-Garonne, la Direction Régionale de l'Environnement de Midi-Pyrénées a demandé au BRGM de réaliser une opération comparable concernant la vallée de l'Ariège. Le périmètre de l'étude est calqué sur la délimitation géologique de la plaine alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif (des moyennes terrasses aux alluvions récentes) excepté les zones aquifères amont très étroites, peu exploitées et difficile à modéliser. Cette étude a débuté en juin 2004 et doit se terminer en mars 2008.

Afin d'achever la modélisation de l'ensemble du secteur alluvial du système Garonne-Ariège-Tarn-Aveyron, et pour répondre aux préoccupations de gestion durable de la ressource en eau souterraine, la D.D.A.F. de la Haute-Garonne a souhaité connaître les conditions de réalisation d'une étude de modélisation de la nappe alluviale de la Garonne dans le département de la Haute-Garonne.

L'étude proposée, menée sur trois (3) années hydrologiques, permettra d'élaborer un modèle mathématique de nappe. Il s'agira en particulier :

- de délimiter le système alluvial, en précisant le rôle des terrasses,
- de caractériser le fonctionnement hydrodynamique de la nappe,
- de compléter les données acquises sur les caractéristiques structurales de l'aquifère,
- de quantifier les débits extraits de la nappe (naturellement, par le biais des sources de déversement, et artificiellement par les prélèvements destinés à l'irrigation, l'eau potable, les industries),
- d'estimer la recharge de la nappe,

- de définir les modalités d'échanges entre la nappe et les cours d'eau,
- de délimiter la nappe d'accompagnement de la Garonne dans le secteur d'étude.

Sur la base de ces informations, le BRGM réalisera un outil de gestion des nappes alluviales de la Garonne utilisable aussi bien pour la délivrance d'autorisations de prélèvements que pour l'estimation de l'effet d'une infiltration provoquée (bassin de stockage,…). Cet outil, issu de la modélisation de la nappe en régime transitoire, permettra d'une part une mise en adéquation de type ressource - besoins et d'autre part, une meilleure compréhension du fonctionnement de l'aquifère dans un souci de préservation de sa qualité.

Par ailleurs, le modèle répondra aux préoccupations du gestionnaire relatives à la délimitation d'une nappe d'accompagnement. Un rapport méthodologique[1] concernant la problématique de l'évaluation de l'impact des prélèvements dans ce type de nappe avait été réalisé à la demande du Ministère de l'Industrie en 1995. Celui-ci fait état de la difficulté à délimiter une nappe d'accompagnement et souligne en conclusion que « *la prévision d'exploitation dans ce type de nappe doit s'intégrer dans une véritable étude de gestion actualisée du système nappe/rivière* ».

L'ensemble des données élaborées issues de cette étude sera intégré dans le SIGES (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines) Midi-Pyrénées afin de favoriser l'accès aux informations hydrogéologiques.

Ce projet a fait l'objet d'un premier rapport de fin d'année 1 (RP-55877-FR) dans lequel la description géologique et hydrogéologique, ainsi que la modélisation géologique, la construction du modèle hydrodynamique et l'acquisition des données de terrain ont été abordés.

[1] Daum J.R., Collin J.J. (1995) – Méthodes d'évaluation de l'impact des prélèvements réalisés dans les nappes d'accompagnement sur les eaux superficielles associées. Rapport BRGM R38586.

3. Acquisition de données de terrain en continu

3.1.1. Chroniques piézométriques

Le calage du modèle hydrodynamique en régime transitoire nécessite de pouvoir comparer des chroniques piézométriques mesurés avec les chroniques piézométriques calculées par le modèle au même endroit.

Pour cela, le BRGM dispose des chroniques enregistrées et télétransmises dans le cadre du réseau patrimonial. Parmi eux, 11 points concernent la plaine alluviale de la Garonne dans le département de Haute-Garonne (ou sont limitrophes).

L'illustration n°1 ci-dessous indique la liste de ces points.

CODE_BSS	DENOMINATION	X_L2E	Y_L2E	REF_DEPT	CODE_ENTITE	NOM_ENTITE
09567X0219/F	Ondes	517248,97	1864712,38	31	339	GARONNE RIVE DROITE
09577X0047/F	Buzet	543894,56	1864148,38	31	340	TARN ET AGOUT
09833C0249/F	La Tuilerie	513427,28	1854110,00	31	342b	GARONNE MOYENNE / MOYENNE TERRASSE
09838D0727/F	Toulouse Av. Lombez	525999,94	1844208,38	31	131a	PLAINE DE LA HAUTE GARONNE / BASSE PLAINE
10092X0166/F	Lamasquère Eglise	511380,19	1831657,63	31	131b	PLAINE DE LA HAUTE GARONNE / BASSE TERRASSE
10097X0224/F	Le Fauga	515301,56	1823592,13	31	131a	PLAINE DE LA HAUTE GARONNE / BASSE PLAINE
10345X0199/F	Saint-Elix-Le-Château	502250,38	1809476,75	31	131b	PLAINE DE LA HAUTE GARONNE / BASSE TERRASSE
10351X0024/F	Auterive	529121,31	1817935,13	31	132	PLAINE DE L'ARIEGE
10548X0101/F	Bordes de Rivière	460850,28	1791178,38	31	352a	GARONNE AMONT / SALAT ET ALLUVIONS DE LA REGION DE ST GAUDENS
10553X0026/F	Lestelle de St martory	483473,03	1791658,88	31	352a	GARONNE AMONT / SALAT ET ALLUVIONS DE LA REGION DE ST GAUDENS
09562X0170/F	Lilou	512766,75	1870823,13	82	130	PLAINE DE LA GARONNE ET DU TARN

Illustration 1 – Liste des points du réseau quantitatif patrimonial utilisables pour le calage du modèle en régime transitoire

Ces points sont localisés dans l'illustration 3 ci-après.

Cependant, cette densité de points n'est pas suffisante pour permettre un calage optimal. Aussi, il était prévu d'effectuer une mesure piézométrique une fois tous les deux mois sur une vingtaine d'ouvrages répartis sur la plaine. Préférant privilégier la fréquence des mesure et la qualité des données au nombre de points suivi, il a été décidé de sélectionner 16 points sur 20, mais de les équiper avec des sondes pressiométriques avec enregistreurs en continu. La durée de suivi étant courte, c'est-à-dire au maximum de deux ans, la fréquence des mesures devait être privilégiée.

Aussi, parmi les 243 points utilisés lors des campagnes piézométriques, 16 ouvrages ont été identifiés pour être équipés de sondes pressiométriques avec enregistreurs (Madofils 2). Auparavant, un test de fonctionnement des appareils a été réalisé pendant deux semaines sur un puits de particulier.

La liste des ouvrages sélectionnés et équipés de sondes pressiométriques, après accord des propriétaires est disponible dans l'illustration 2.

N°	CODE_BSS	Dénomination	Origine du point	X_L3	Y_L3	Lieu_dit_point	Commune_point
1	09845B0384/F	Château de Nollet	BSS	532910	143348	Château de Nollet	Balma
26	10102X0133/F		nouveau	536307	135500		Escalquens
41	09834X0660/F		nouveau	526075	153428		Aucamville
70	09833X0277/F	Vieux Casat	nouveau	519204	155321	Vieux casat	Aussonne
88	10093X0284/F	Montole	nouveau	519186	139288	Montole	Cugnaux
114	10096X0154/F	Nagut	nouveau	506489	127833	Nagut	Poucharramet
133	10342X0035/F	Gratian	BSS	505463	117292	Gratian	Bois de la Pierre
150	09836X0179/F	Blanconne	nouveau	511355	142758	Blanconne	Leguevin
155	10092X0037/F	Le moulin de la Jalousie	BSS	507005	136223	Le moulin de la Jalousie	St Lys
169	09566X0015/F	Bramayre	BSS	510866	161387	Bramayre	Larra
214	10548X0122/F	Le château d'eau	nouveau	465885	90034	Le château d'eau	Valentine
221	10556X0020/F		BSS	479558	90462		Labarthe Inard
300	10094X0659/F	12,rue du chene liege	Nouveau	522542	135418	12,rue du chene liege	Roques sur Garonne
199 BIS	10345X0264/F		nouveau	499466,8	102654,7	Gabiole	Cazeres
78 BIS	09836X0181/F		nouveau	511529,2	148491,2	La ferme	Pibrac
95 BIS	09832X0174/F		nouveau	508094,8	153785,3	Village	Menville

Illustration 2 – Liste des ouvrages équipés de sondes pressiométriques avec enregistreurs

Ces points d'eau ont été équipés d'une sonde avec enregistreur à la fin du mois de juin 2007 et les données sont relevées tous les deux mois, ce qui permet de détecter d'éventuelles anomalies et d'assurer au minimum une mesure manuelle bimensuelle en cas de panne de l'appareil.

La localisation de ces points est donnée dans la carte de l'illustration 3 ci-dessous.

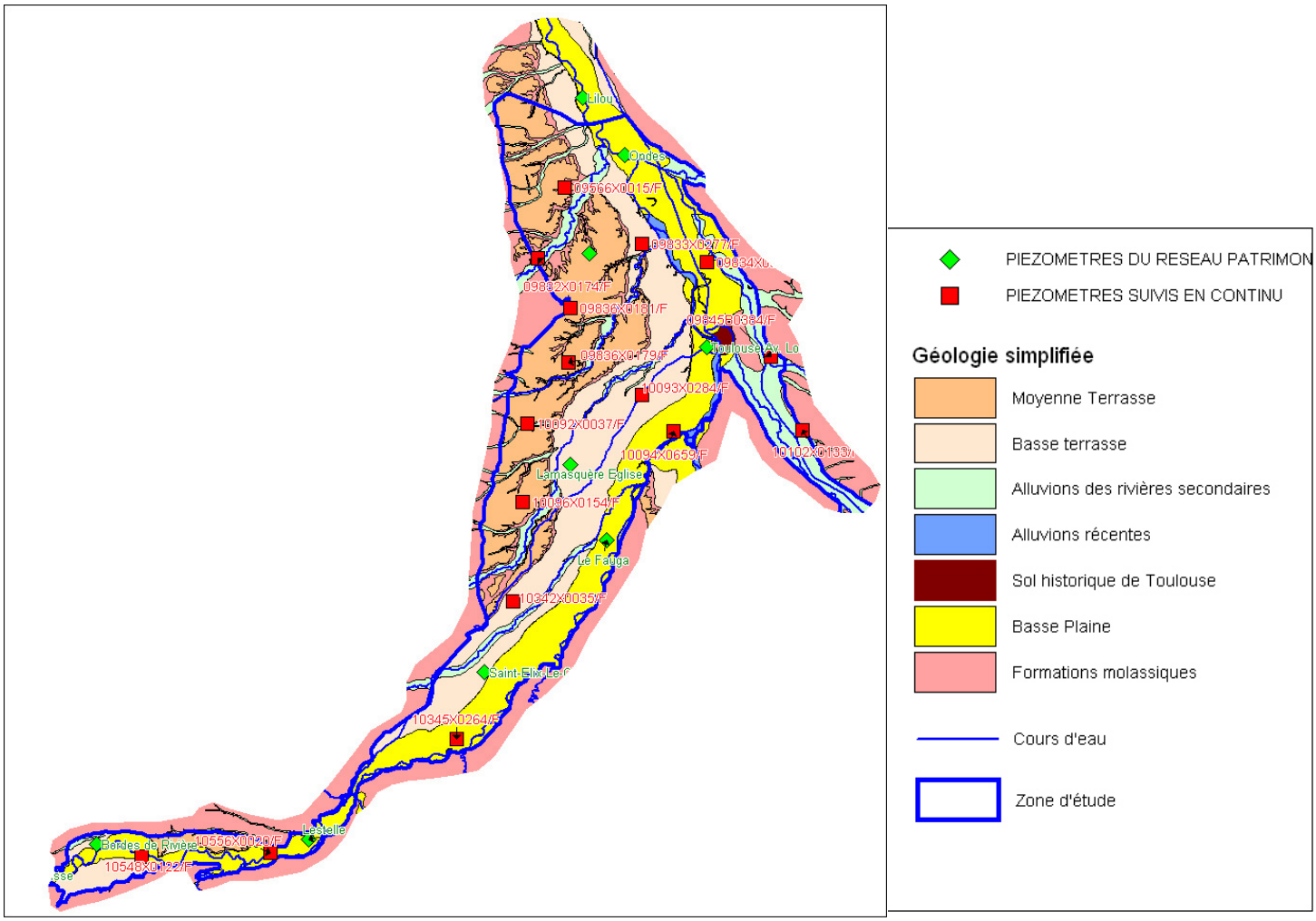


Illustration 3 – Localisation des piézomètres suivis en continu dans le cadre de l'étude

Les chroniques relevés sur ces points au mois de juin 2008 sont disponibles en annexe 1 et les chroniques enregistrées sur les points du réseau quantitatif patrimonial sont placées en annexe 2.

3.1.2. Suivi du niveau des rivières

Le modèle hydrodynamique est construit en considérant les cours d'eau comme un réseau hydrographique dynamique en régime transitoire. Cela implique de disposer, pour le calage du modèle, de données assez fines sur l'évolution du niveau des rivières dans le temps.

Pour cela, il est possible d'exploiter les données enregistrées par la DIREN Midi-Pyrénées sur leurs stations hydrométriques de cours d'eau. Dans le secteur d'étude, 16 stations hydrométriques sont suivies actuellement en continu. Ces stations sont présentées dans le tableau de l'illustration 4 ci-dessous.

Nom station Code station	Dénomination	Nom cours d'eau	Date de début des mesures	X_L2E	Y_L2E	Remarques
O0010040	SAINT BEAT	Garonne	01/01/1992	465449	1769443	
O2034010	SEILH	AUSONNELLE	01/09/1998	520811	1854943	
O0050010	CHAUM	Garonne	16/03/1987	461874	1772141	
O0200020	VALENTINE	Garonne (Partielle)	01/01/1912	467070	1789718	
O0200040	Valentine Récent	Garonne (Totale)	01/01/1912	467444	1789439	
O0290030	Mancioux	Garonne	01/01/2005	487646	1796028	
O0800010	Marquefave	Garonne	01/01/2006	511286	1813343	Pas de données
O1900010	Portet	Garonne	01/01/1910	525406	1836493	
O2620010	Verdun	Garonne	01/08/1972	511908	1873173	
O0964030	Fousseret	La Louge	01/10/1967	496179	1808049	
O0984010	Muret	La Louge	01/09/1968	517361	1829187	
O1934310	Berat	Touch	01/10/1967	505619	1820908	
O1984310	St Martin du touch	Touch	01/01/1968	522346	1844559	
O2172510	Baziège	L'Hers mort	13/02/1969	541176	1827946	
O2552910	Larra	La Save	01/10/1965	511876	1859088	
O0794010	Rieux V	L'Arize	01/09/1968	506972	1805133	
O2344010	Cepet	Le Girou	01/09/1968	527198	1861638	

Illustration 4 – Liste des stations hydrométriques sur cours d'eau suivies par la DIREN dans le secteur d'étude

Afin de compléter les données sur les variations du niveau d'eau sur la Garonne, 5 autres sites de mesure situés sur des ponts ont été sélectionnés et font l'objet de mesures manuelles du niveau de l'eau tous les deux mois en moyenne.

Ces points sont décrits dans le tableau de l'illustration 5.

ID	Dénomination	XL_2E	Y_L2E	NOM_COMMUN
1	Garonne en Entrée du secteur d'Útude	456298,04	1788298,52	GOURDAN-POLIGNAN
2	Garonne en aval de Saint Gaudens	478038,02	1789135,32	LABARTHE-INARD
3	Garonne en amont de Carbonne	503884,89	1805247,29	SAINT-JULIEN
4	Garonne en aval de Toulouse (Gagnac)	521820,66	1855941,55	GAGNAC-SUR-GARONNE
5	Garonne en Sortie du secteur d'étude (Grenade)	516999,89	1864559,09	ONDES

Illustration 5 – Liste des points en rivière suivis manuellement par le BRGM

L'ensemble des points de suivi des cours d'eau de la zone d'étude est localisé en annexe 3.

Pour chacun des sites suivis manuellement, des fiches descriptives ont été rédigées et sont disponibles en annexe 4.

4. Poursuite du calage du modèle en régime permanent

4.1. METHODE UTILISEE POUR LE CALAGE

Dans la continuité des travaux menés au cours de l'année précédente, la mise en œuvre du calage en régime permanant suit le protocole schématisé dans l'illustration 6.

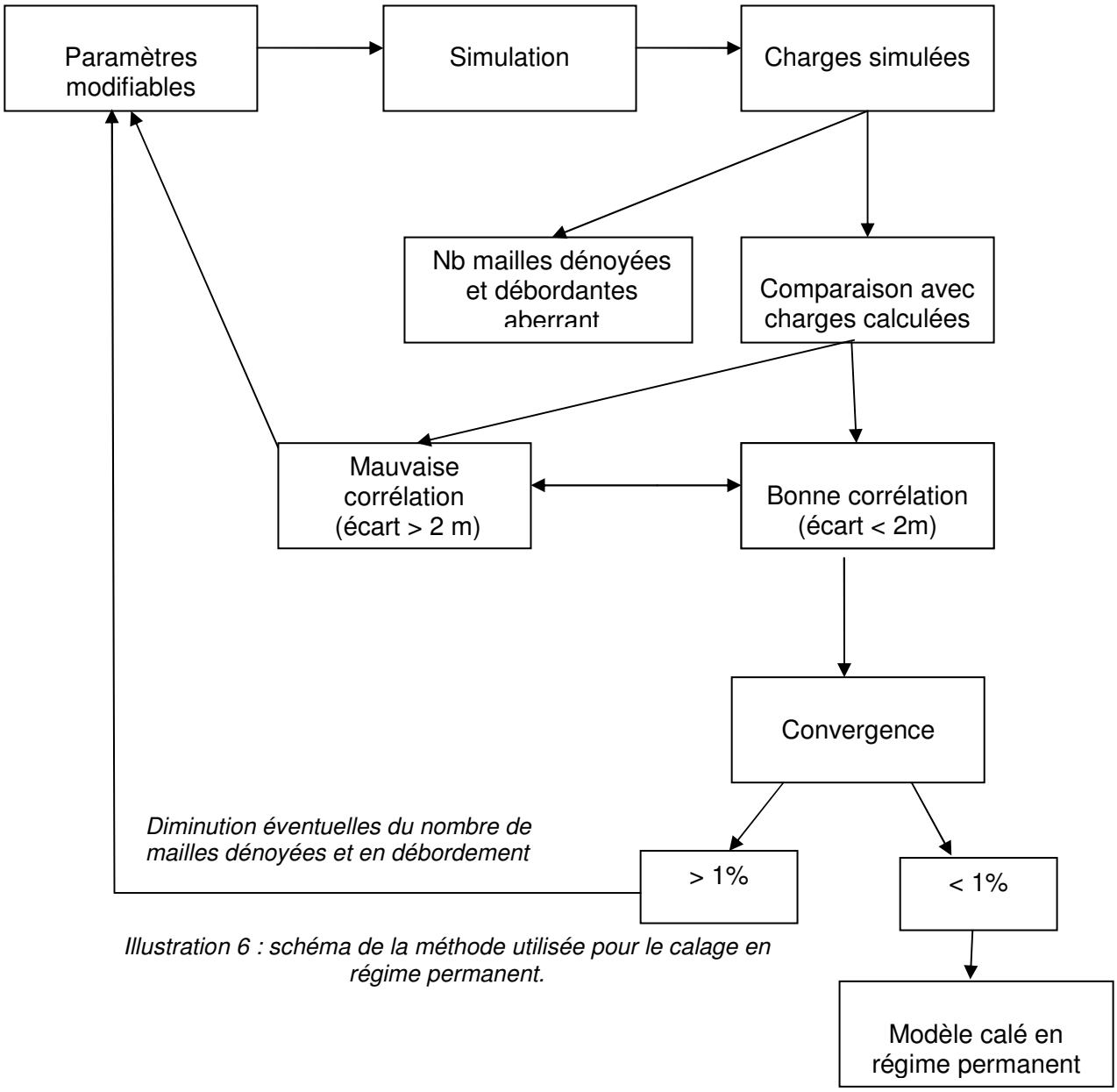


Illustration 6 : schéma de la méthode utilisée pour le calage en régime permanent.

4.2. CONSTUCTION D'UNE CARTE PIEZOMETRIQUE MOYENNE ENTRE BASSES EAUX ET HAUTES EAUX

Le calage en plan du modèle en régime permanent nécessite de disposer d'un piézométrique moyenne de l'année simulée. Cette carte a été réalisée au cours de l'année 2 du projet, en traçant des courbes moyennes entre la carte des basses eaux et des hautes eaux.

Les résultats sont disponibles en annexe 5.

4.3. RESULTATS DES DERNIERS ESSAIS DE CALAGE

La procédure de calage en régime permanent a fini par atteindre un stade critique, avec effet de vases communiquant : la modification des paramètres de calages ne permettait plus d'améliorer le modèle. La procédure de calage étant plus complexe avec un réseau hydrographique dynamique, du fait du nombre important de paramètres de calage, il a été décidé de revenir provisoirement à un système à potentiel imposé, où le nombre de paramètres de calage est plus restreint. Cette étape permettra d'affiner au mieux le calage en régime permanent, avant de revenir à un système en réseau hydrographique, puis à un régime transitoire.

Il parait important de signaler que le calage d'un modèle en régime permanent est déterminant pour ensuite le faire évoluer en régime transitoire. Sans calage optimal en régime permanent, qui constitue le point de départ de la simulation, il est impossible de réaliser des calages satisfaisants en régime transitoire. Un effort particulièrement important est donc porté sur cette phase de l'étude.

Cette phase de calage nécessite d'effectuer un grand nombre de simulations intermédiaires, dont les résultats ne seront pas présentés dans ce document.

Ce paragraphe détaille le calage obtenue au mois de juin 2008, sachant que celle-ci va être amenée à évoluer fortement dans les prochaines semaines.

La dernière simulation effectuée au 20 juin 2008 a permis d'obtenir les résultats présentés dans les illustrations 7, 8, 9 et 10.

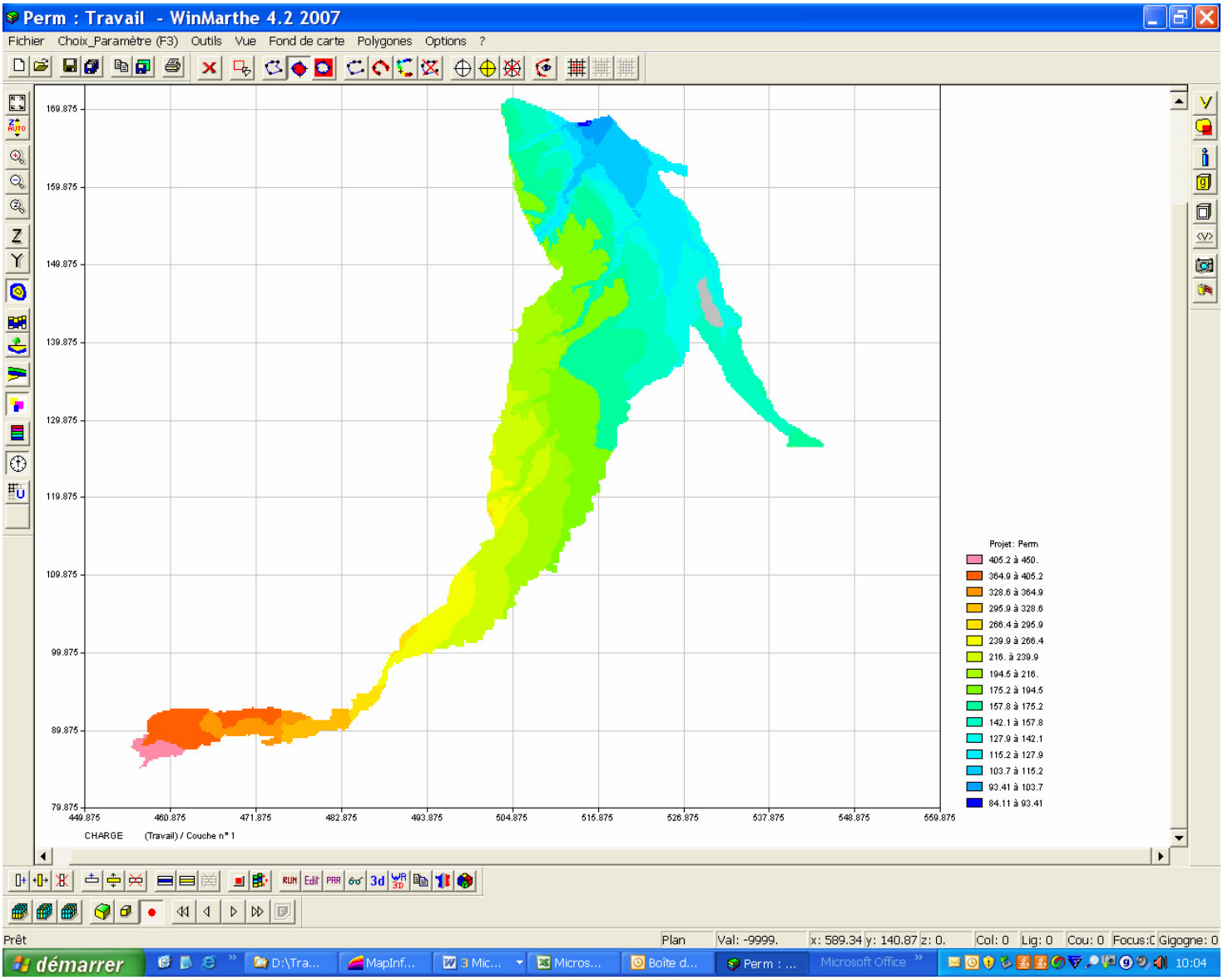


Illustration 7 – Semis des charges calculées par le modèle en régime permanent

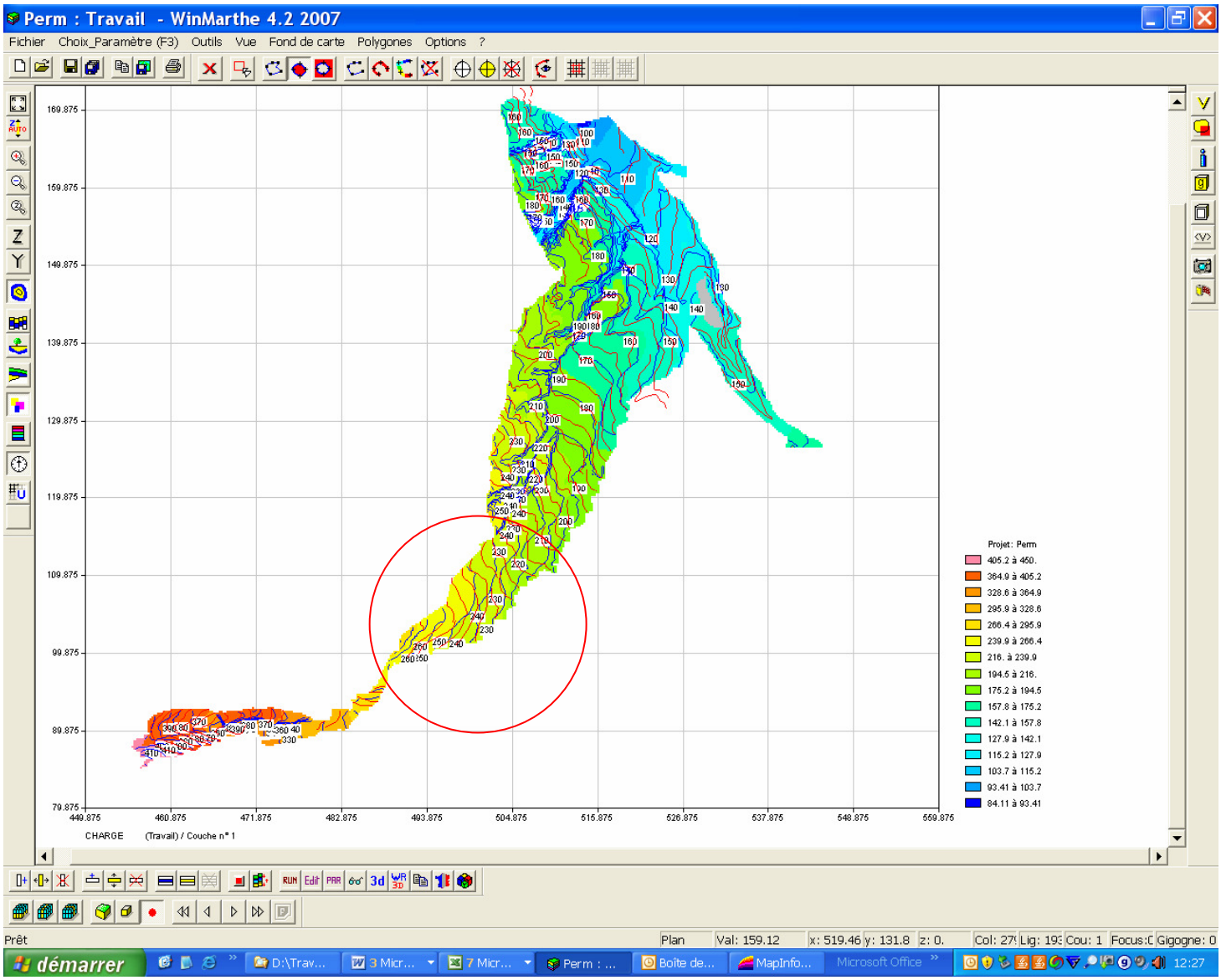


Illustration 8 – Piézométrie calculées comparée à la piézométrique moyenne observée

Mise à part dans le secteur de Cazères et St Elix le Château (matérialisé par un cercle rouge), l'allure, la cote, l'espacement des courbes piézométriques, et les sens d'écoulement modélisés sont assez proches des données observées.

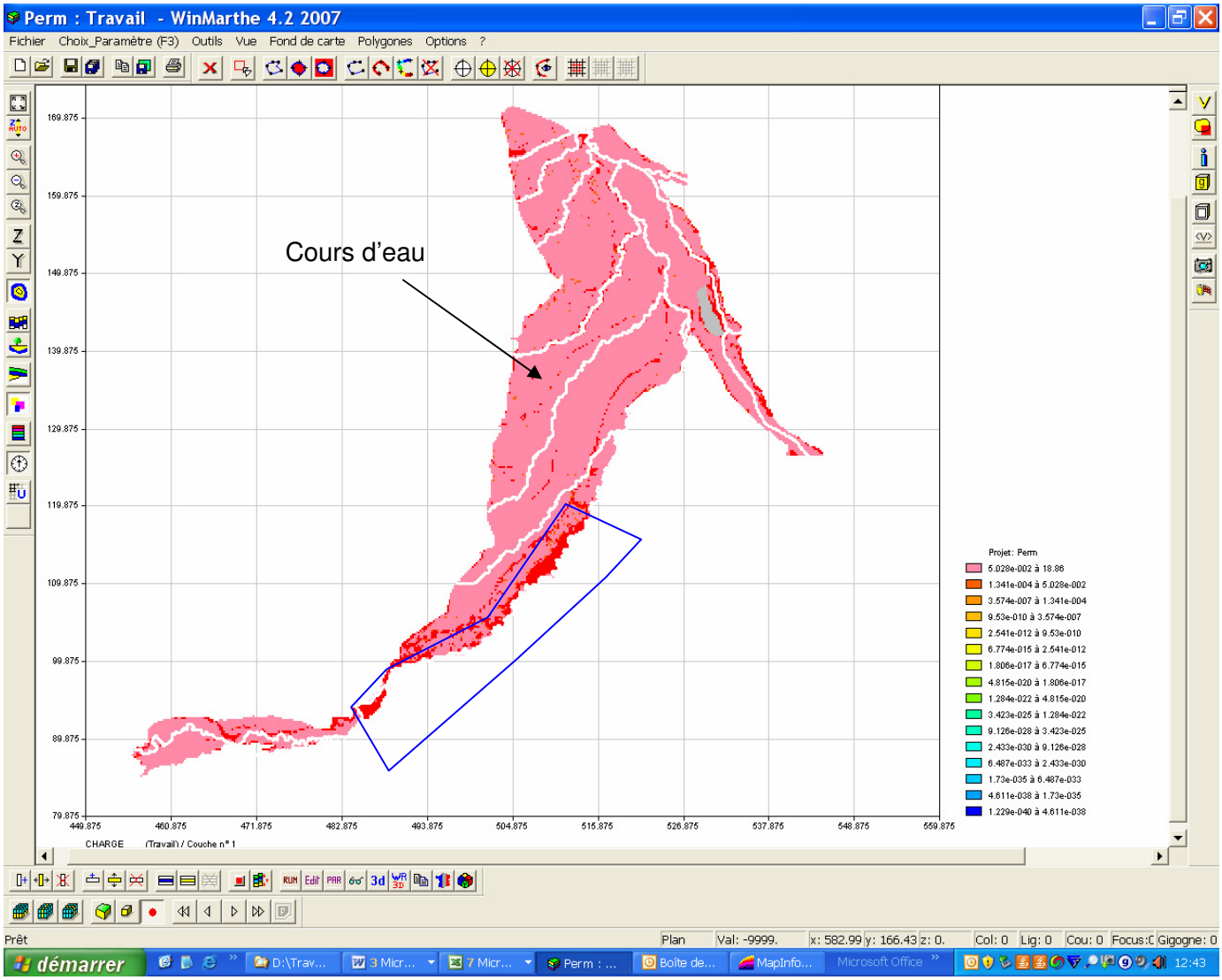


Illustration 9 – Calcul des épaisseurs d'eau calculées et mise en évidence (rouge) des mailles quasi-dénoyées

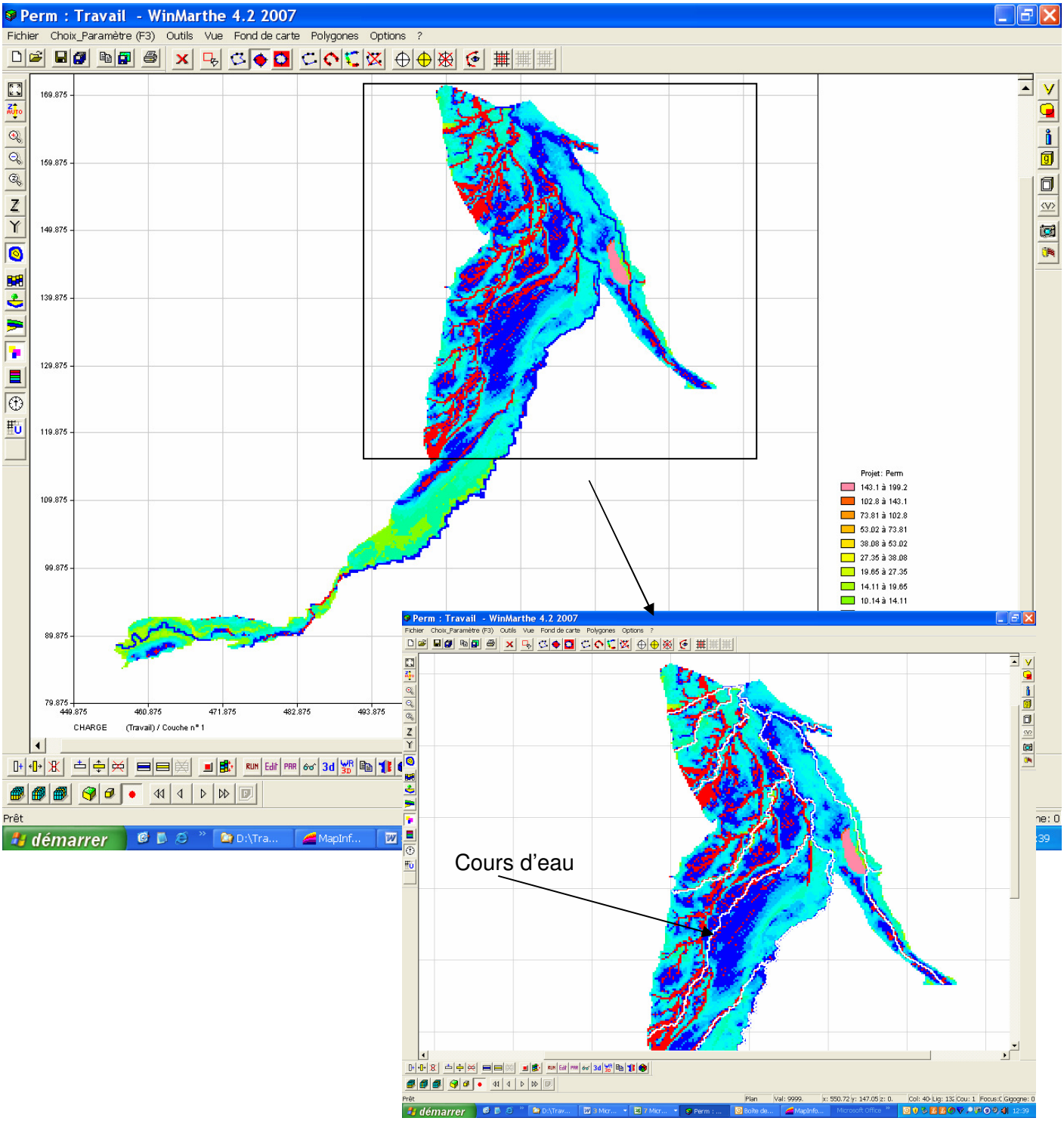


Illustration 10 – Semis de l'épaisseur de la zone non-saturée calculée et mise en évidence (rouge) des mailles de débordement

Le fichier du bilan de la simulation indique 2134 mailles quasi-dénoyées et 3053 mailles en débordement sur 21 630 mailles modélisées. L'illustration 10 montre que les mailles en débordement correspondent exclusivement aux mailles où se situent un cours d'eau, ou aux mailles où la molasse (imperméable) est affleurante. Le débordement traduit donc bien un phénomène naturel.

Les mailles quasi-dénoyées se répartissent de façon linéaires et correspondent globalement aux affleurements de molasses entre les terrasses alluviales et de part et d'autres des alluvions de cours d'eau secondaires.

Une bande de mailles dénoyées, située de St Martory à Muret, en bordure sud-est du modèle (zone matérialisée par un polygone bleu dans l'illustration 8) et dans la basse plaine, reste anormale. Elle traduit certainement un manque d'apport d'eau par les coteaux molassiques dans ce secteur dans le modèle. Dans la suite du calage, des essais seront réalisés en générant des flux d'alimentation issus des formations molassiques.

Le diagramme de dispersion entre les charges calculées et les charges observées, ainsi que les statistiques sur les écarts de valeurs sont présentés dans les illustrations 11 et 12.

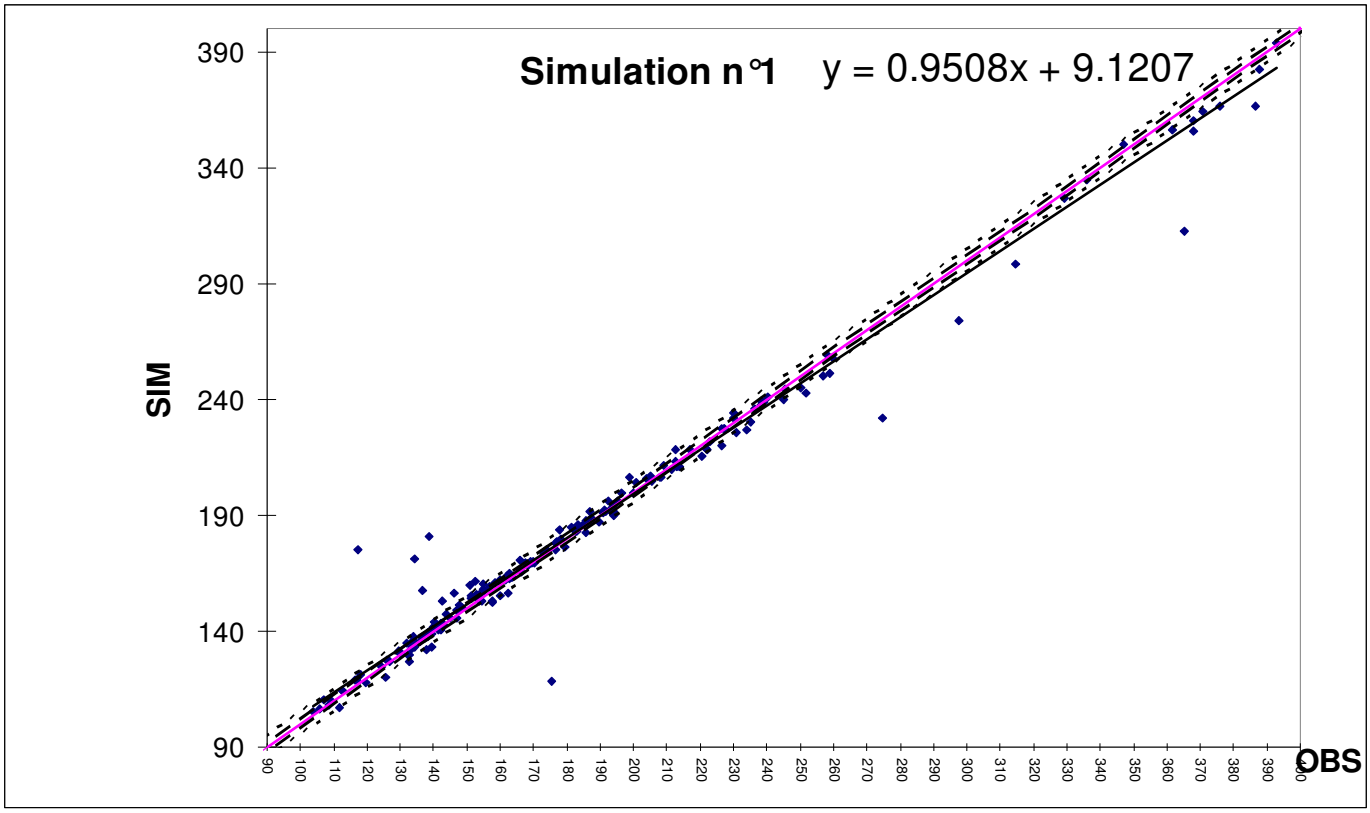


Illustration 11 – Diagramme de dispersion entre charges calculées te observ ées

MIN ECART	0.0
MAX ECART	57.5
Moyenne des valeurs observées (m)	**186**
Moyenne des valeurs calculées (m)	**185.59**
Ecart-type des valeurs observées (m)	**62.47**
Ecart-type des valeurs calculées (m)	**60.18**
Moyenne des écarts (m)	**4.48**
Ecart type des écarts (m)	**9.17**
Equation de la droite de régression	**Hcal=0,9329Hobs+13.497**

Illustration 12 – Statistiques sur les écarts de valeurs entre charges calculées et observées

La droite de corrélation du diagramme de dispersion présente une pente de 0,95, ce qui indique une corrélation globalement correcte entre les valeurs calculées par le modèle et celles observées sur le terrain. Les moyennes des valeurs calculées sont assez proches mais la moyenne des écarts et l'écart type des écarts restent importants et devront être améliorés. En fait, ces valeurs sont biaisées par l'existence d'une dizaine de mailles où l'écart entre la charge calculée et observée est de plusieurs dizaines de mètres. Aussi, bien que 95 % des écarts soient dans une fourchette inférieure à 5, voire même 2 m, quelques points anormaux perturbent les statistiques.

Ces anomalies devront être supprimées en jouant soit sur les paramètres de calage, soit sur la géométrie du milieu.

Enfin, la convergence interne de calcul du modèle est de l'ordre de 4 %, ce qui reste trop élevé pour considérer les résultats de calculs comme stables. Ce problème est souvent lié à la présence de mailles dénoyées et en débordement. L'objectif sera donc de réduire au maximum cette convergence, en le faisant tendre vers 1%.

Le temps de calcul actuel est d'environ 20 secondes par simulation, ce qui reste également trop important et devra être réduit par optimisation du calage.

5. Conclusion

La seconde année du projet de modélisation de la nappe alluviale de la Garonne dans le département de Haute-Garonne, qui s'est déroulée de juin 2007 à juillet 2008, a permis de poursuivre les acquisitions de données piézométriques et hydrométriques sur le terrain, qui serviront ensuite au calage du modèle en régime transitoire.

La réinterprétation des cartes piézométriques réalisées au cours de l'année 1 a permis d'obtenir une carte piézométrique moyenne pour l'année hydrologique 2006-2007, servant de référence pour le calage du modèle en régime permanent.

Enfin, cette seconde année fut l'occasion de poursuivre le calage du modèle en régime permanent.

Ce travail va se poursuivre au cours de la 3ème et dernière année du projet, afin d'aboutir à un calage du modèle en régime transitoire pour la période de septembre 2006 à septembre 2009. Les résultats de ce modèle permettront d'alimenter un outil de gestion des autorisations de prélèvement agricole, qui sera développé en concertation avec les services de la MISE 31 au début du second trimestre 2009.

6. Bibliographie

GHYSELINCK-BARDEAU M., CASTAGNAC C.., 2007 – Gestion des systèmes aquifères alluviaux dans le bassin Adour-Garonne : Modélisation de la nappe alluviale de la Garonne dans le département de la Haute-Garonne – Rapport final – année 1. Rapport BRGM/RP-55877, 155 p., 56 ill., 14 annexes.

DASSIBAT C., -Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur la feuille topographique au 1/50 000 Muret (1009) (Haute-Garonne) - Etat des connaissances.

ROCHE. J., VANDENBEUSCH M ., - Etude du comportement dynamique de la nappe alluviale dans la Z.U.P. du Mirail (2ème tranche) Modèle de simulation mathématique.

GAGNIERE G, ROCHE J ., - Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur la feuille topographique au 1/50 000 Cazères (1034) Haute-Garonne - Etat des connaissances.

CAVAILLE A., ROCHE J., - Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur les feuilles topographiques au 1/20 000 GRENADE-SUR-GARONNE 7 et 8 - Etat des connaissances**.**

ROCHE J., - Etude hydrogéologique détaillée d'ouvrages de grande voirie dans la Z.U.P. du Mirail à Toulouse (31)**.**

CAVAILLE A, VANDENBERGHE A ., - Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur la feuille topographique au 1/20 000 Toulouse-Ouest 3 (983-3) - Etat des connaissances**.**

CAVAILLE A, VANDENBERGHE A ., - Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur la feuille topographique au 1/20 000 Toulouse-Est 5 (984-5) - Etat des connaissances

CAVAILLE A, VANDENBERGHE A ., - Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur la feuille topographique au 1/20 000 TOULOUSE-OUEST 4 - Etat des connaissances.

ROCHE J., -Etude hydrogéologique de l'avant-projet de déviation du Canal du Midi - hors de la ville de Toulouse (31) par la vallée de l'Hers**.**

DASSIBAT A., -Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur les feuilles topographiques au 1/20 000 Toulouse-Ouest 7 et 8 (983-7 et 8) - Etat des connaissances**.**

ROCHE J., - Ville de Toulouse - Cimetière suburbain de Cornebarrieu - Etude préliminaire du rabattement de la nappe alluviale

NAPIAS J.C., - Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur les feuilles topographiques au 1/20 000 Toulouse Ouest 5 et 6 (983-5 et 6) Haute-Garonne

NAPIAS J.C ., - Inventaire des ressources hydrauliques du territoire compris sur les feuilles topographiques au 1/20 000 TOULOUSE-OUEST 1 et 2 - Etat des connaissances

VANDENBERGHE A., - Résultats d'un essai de débit sur le puits de l'Union Laitière Coopérative - Nappe alluviale de la Garonne au Nord de Toulouse (31)

PAYET O., - Hydrogéologie des terrasses alluviales de la Garonne entre Montréjeau et Martres-Tolosane

ALAUX V., - Modélisation géologique de l'interface alluvions-molassse de la plaine alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif. Rapport de stage de DESS

BOUROULLEC I, DELPONT G., DUTARTRE P., POUX E., RICARD J., TILLOLOY F., TOMERA L., THIERRY P., - BISMUTH : Banque d'Information sur le sous-sol en Milieu Urbain de Toulouse (31).

ARNAUD M., EMERY X., - Estimation et interpolation spatiale (Méthodes déterministes méthodes géostatistiques)
Hermes.

Annexe 1

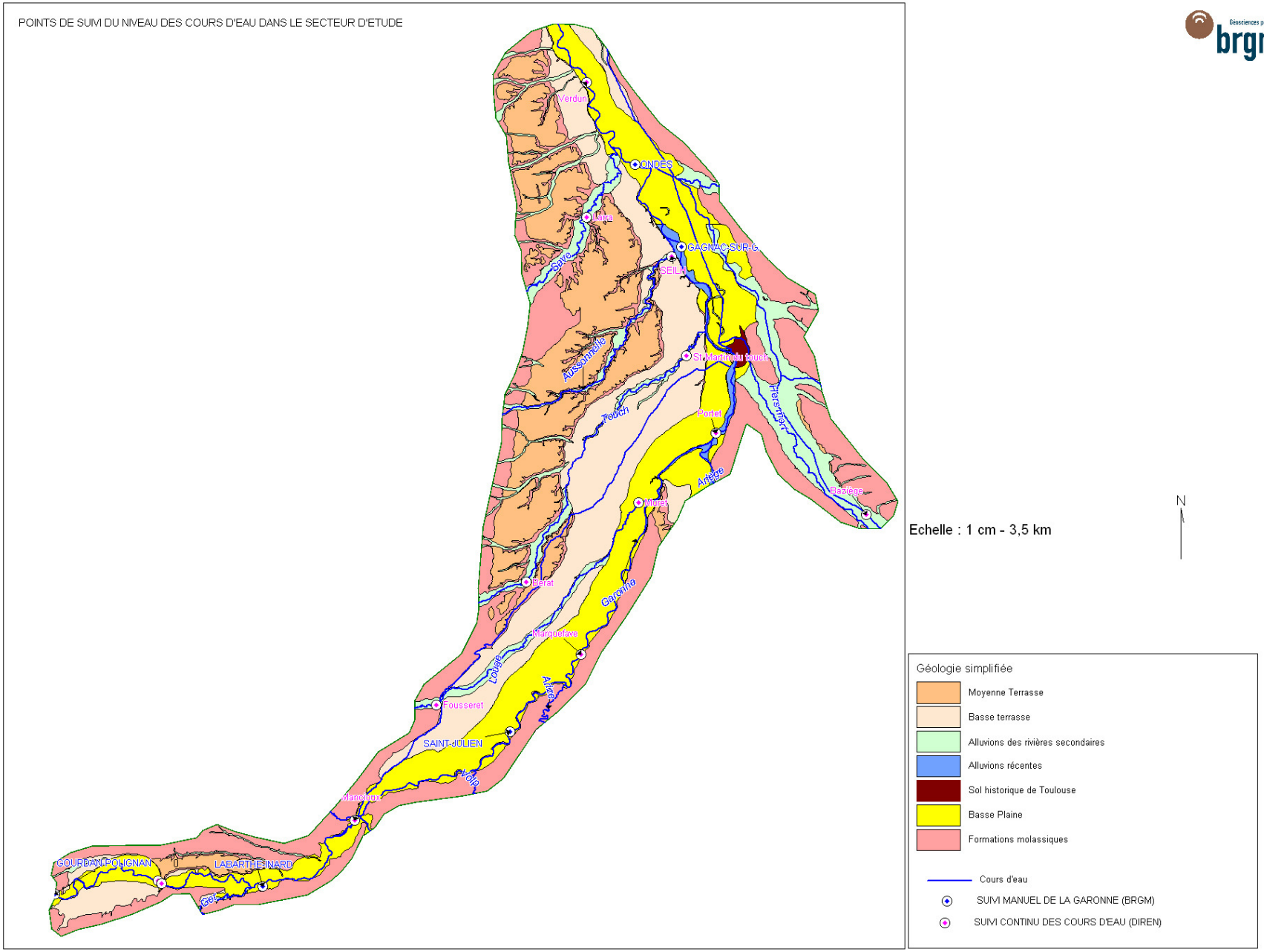
Chroniques piézométriques enregistrées en continu sur 16 points d'eau

Annexe 2

Chroniques piézométriques mesurées sur les points d'eau du réseau patrimonial

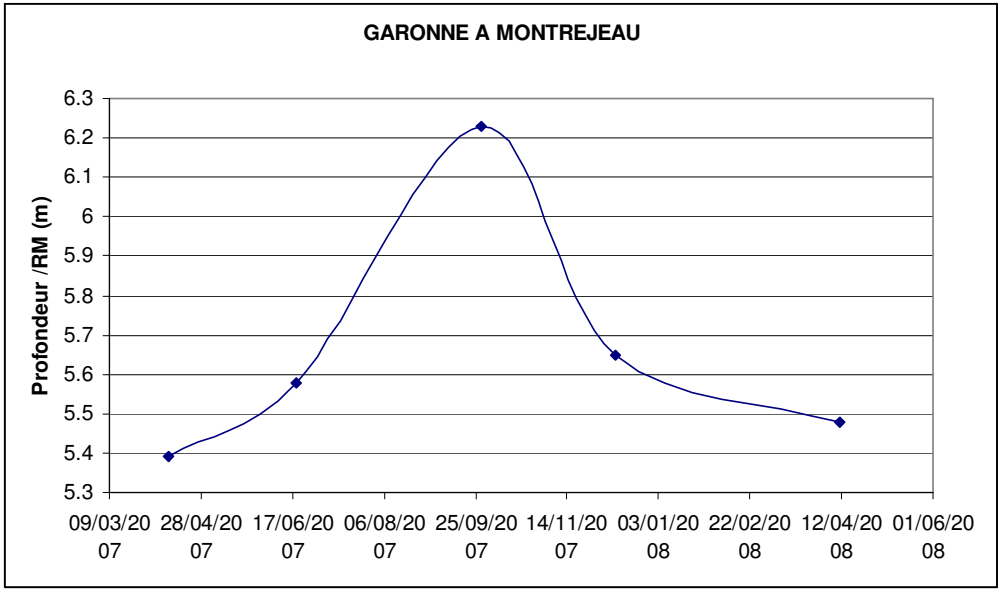
Annexe 3

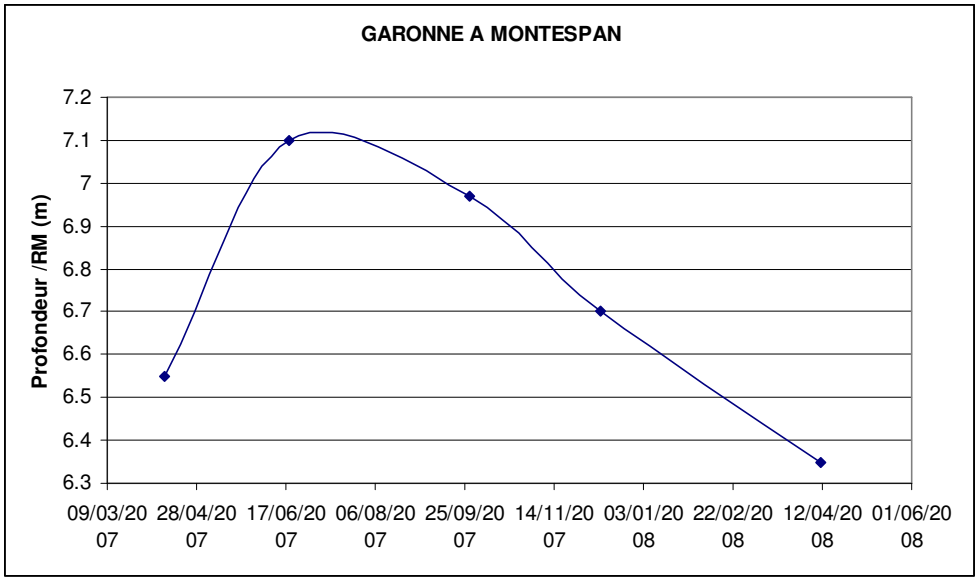
Cartes des points de suivi manuel du niveau de la Garonne

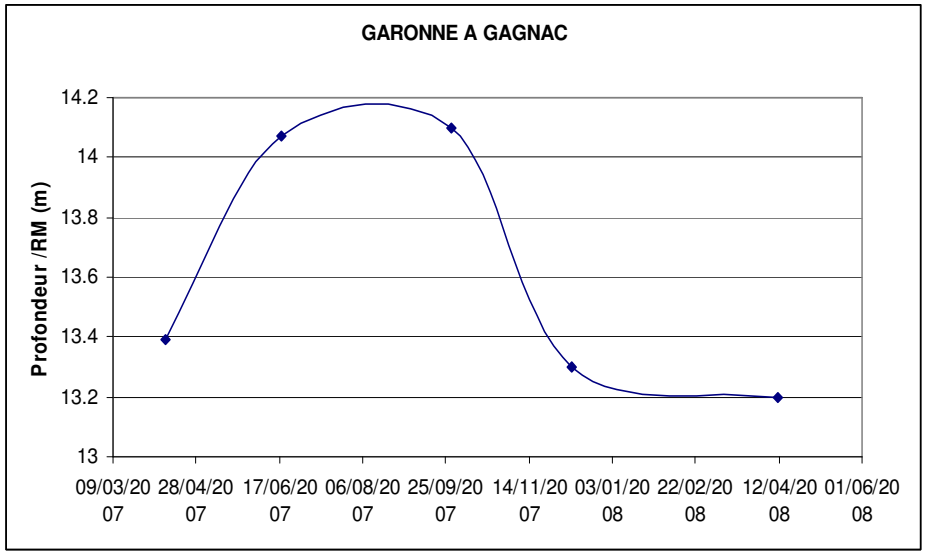

POINTS DE SUIVI DU NIVEAU DES COURS D'EAU DANS LE SECTEUR D'ETUDE
Verdun
ONDES
Lisle
GAGNAC-SUR-G.
SEILH
Save
Aussonnelle
St Martin du touch
Touch
Portet
Transport
Ariège
Bazièges
Mazères
Berat
Garonne
Margodefave
Louge
Fousseret
Arbonne
SAINT-JULIEN
Aussonne
Manendaux
COURBAN-POLIGNAN
LABARTHE-SUR-LÈZE
Gèze
Echelle : 1 cm - 3,5 km
N
Géologie simplifiée
Moyenne Terrasse
Basse terrasse
Alluvions des rivières secondaires
Alluvions récentes
Sol historique de Toulouse
Basse Plaine
Formations molassiques
Cours d'eau
SUIVI MANUEL DE LA GARONNE (BRGM)
SUIVI CONTINU DES COURS D'EAU (DIREN)

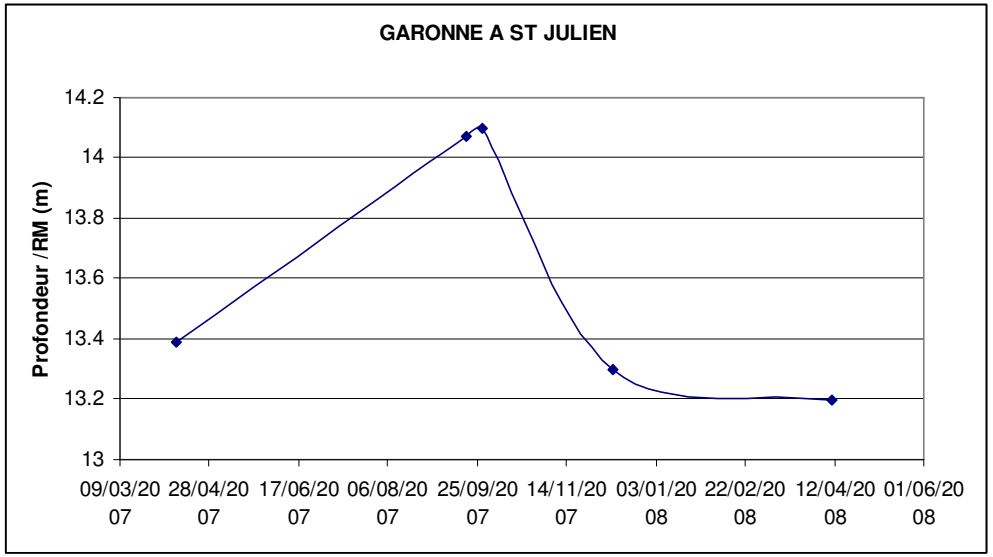
Annexe 4

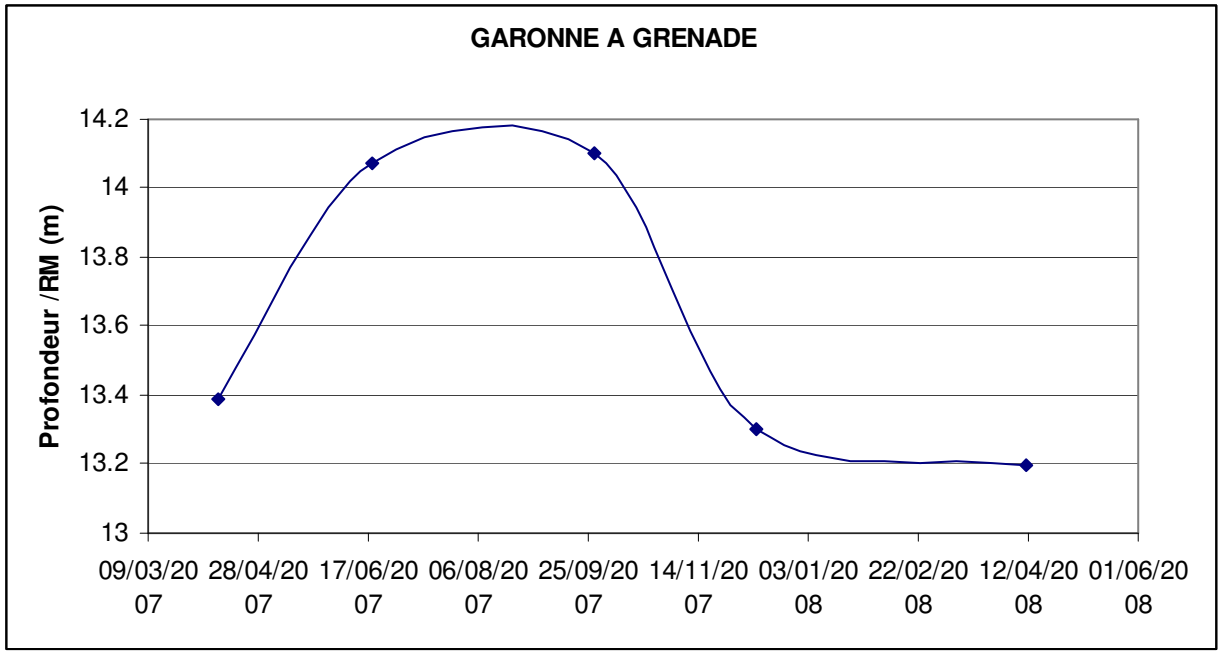
Chroniques du niveau d'eau de la Garonne (mesures manuelles)


GARONNE A MONTREJEAU
Profondeur /RM (m)
6.3
6.2
6.1
6
5.9
5.8
5.7
5.6
5.5
5.4
5.3
09/03/2007
28/04/2007
17/06/2007
06/08/2007
25/09/2007
14/11/2007
03/01/2008
22/02/2008
12/04/2008
01/06/2008


GARONNE A MONTESPAN
Profondeur /RM (m)
7.2
7.1
7
6.9
6.8
6.7
6.6
6.5
6.4
6.3
09/03/2007
28/04/2007
17/06/2007
06/08/2007
25/09/2007
14/11/2007
03/01/2008
22/02/2008
12/04/2008
01/06/2008


GARONNE A GAGNAC
Profondeur /RM (m)
14.2
14
13.8
13.6
13.4
13.2
13
09/03/2007
28/04/2007
17/06/2007
06/08/2007
25/09/2007
14/11/2007
03/01/2008
22/02/2008
12/04/2008
01/06/2008

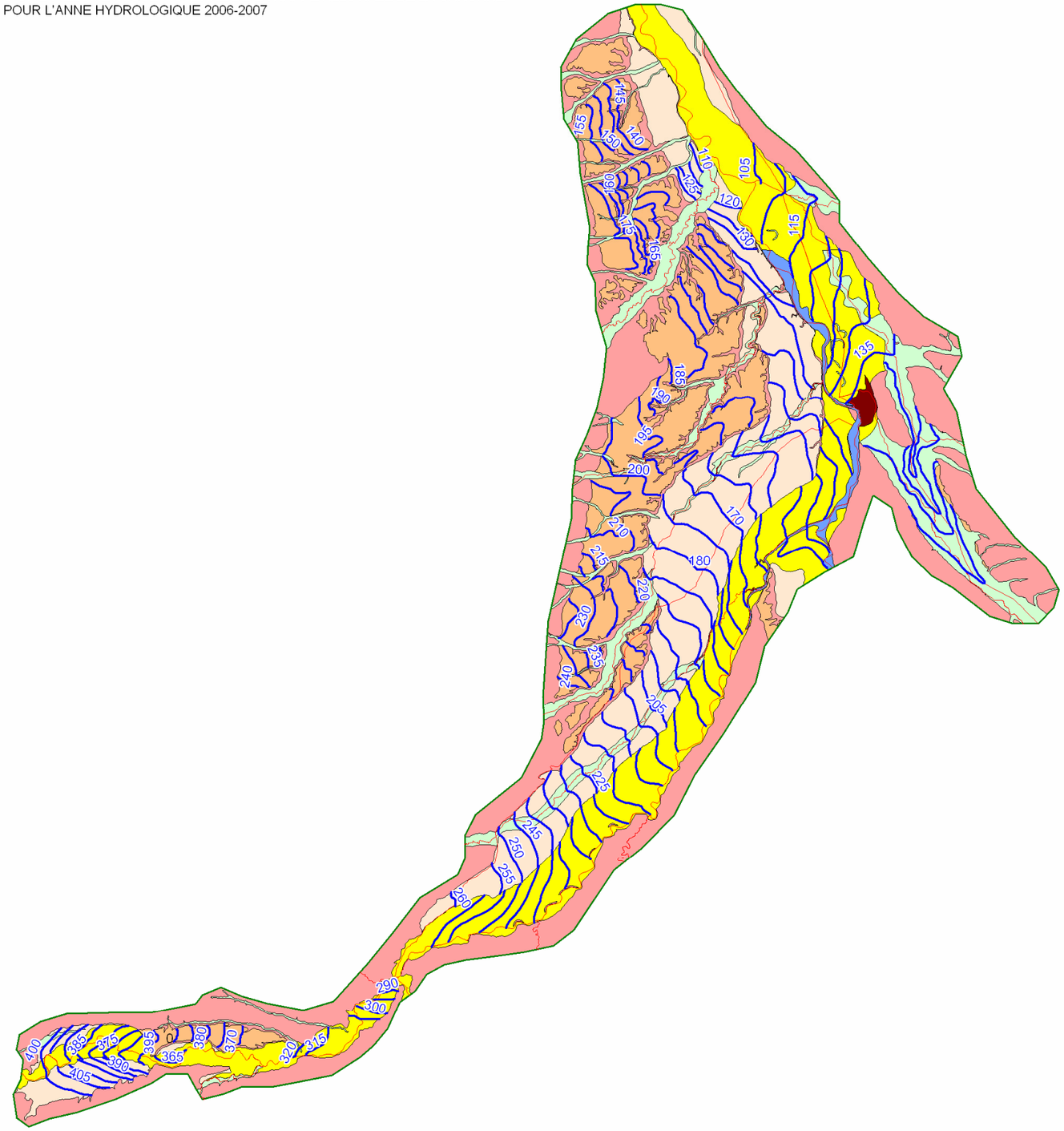

GARONNE A ST JULIEN
Profondeur /RM (m)
14.2
14
13.8
13.6
13.4
13.2
13
09/03/2007
28/04/2007
17/06/2007
06/08/2007
25/09/2007
14/11/2007
03/01/2008
22/02/2008
12/04/2008
01/06/2008


GARONNE A GRENADE
Profondeur /RM (m)
14.2
14
13.8
13.6
13.4
13.2
13
09/03/2007
28/04/2007
17/06/2007
06/08/2007
25/09/2007
14/11/2007
03/01/2008
22/02/2008
12/04/2008
01/06/2008

Annexe 5

Carte piézométrique moyenne de l'année hydrologique 2006-2007

CARTE PIEZOMETRIQUE MOYENNE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE LA GARONNE
POUR L'ANNE HYDROLOGIQUE 2006-2007



LEGENDE

- Isopièze (intervalle 5 m)
- Isopièze (intervalle 2,5 m)
- Cours d'eau et canaux

Géologie simplifiée

- Moyenne Terrasse
- Basse terrasse
- Alluvions des rivières secondaires
- Alluvions récentes
- Sol historique de Toulouse
- Basse Plaine
- Formations molassiques

N

Echelle : 1 cm - 3,5 km

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
–BP 49
31527 Ramonville St Agne
Tél. : 05 62 24 14 50