

Evaluation de l'impact sur la ressource en eaux souterraines de l'exploitation de granulats dans le milieu alluvionnaire de la Garonne

(31)

Rapport final

BRGM/RP-55673-FR

Août 2007

Evaluation de l'impact sur la ressource en eaux souterraines de l'exploitation de granulats dans le milieu alluvionnaire de la Garonne (31)

Rapport final

BRGM/RP-55673-FR
Août 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 PSP06MPY39

M. Saplaïroles, J.F. Desprats, G. Delpont, A. Bourguignon.

Vérificateur :

Original signé par N. PEDRON

Le 27 août 2007

Approbateur :

Original signé par Ph. ROUBICHOU

Le 27 août 2007

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

Mots clés : Exploitation de granulats, milieu alluvionnaire, gravières, images satellitaires, pertes par évaporation, évapotranspiration des sols, Haute-Garonne

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
M. Saplairoles, J.F. Desprats, G. Delpont, A. Bourguignon. 2007 - Evaluation de l'impact sur la ressource en eau souterraine de l'exploitation de granulats dans le milieu alluvionnaire de la Garonne (31). BRGM/RP-55673-FR. Rapport final 48 p., 23 ill., 2 ann..

Synthèse

Les zones alluviales de la Garonne et de l'Ariège constituent des gisements préférentiels en sables et graviers fournissant notamment la matière première des chantiers du bâtiment et des travaux publics du département de Haute-Garonne (31).

L'extraction de ces matériaux alluvionnaires a pour incidence directe d'entraîner l'apparition d'excavations plus ou moins importantes dans le paysage de la plaine. La présence de ces gravières dans un secteur où la surface piézométrique de la nappe alluviale est proche de la topographique génère le développement de plans d'eau dont la surface correspond à celle de la nappe.

Toutefois, face à l'augmentation des carrières en granulats dans ce secteur durant les dernières dizaines d'années, la DRIRE de Midi-Pyrénées a demandé au BRGM d'apporter des éléments objectifs dans l'évaluation de l'impact de ces exploitations sur la ressource en eaux souterraines.

Ce projet, soutenu dans le cadre des actions de Service Public du BRGM, est financé avec l'aide de la DRIRE de Midi-Pyrénées et de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Cette étude comportait deux principaux objectifs. Le premier concernait la quantification, à partir d'images satellitaires, des surfaces en eau issues de l'extraction de granulats dans le milieu alluvionnaire de Haute-Garonne. Afin de pouvoir analyser l'évolution des gravières en eau depuis dix ans, le travail de classification s'est appuyé sur une chronique d'images acquises en juillet 1992, juin 2000 et juillet 2005.

Un développement croissant des surfaces en eau libre dans la plaine alluviale de la Garonne est observé. Cette augmentation est principalement provoquée par l'accroissement, en nombre et en superficie, des exploitations de granulats. Ainsi, pour l'ensemble de la zone d'étude, les surfaces en eau libre ont pratiquement doublé en 13 ans dans la mesure où les anciennes gravières restent le plus souvent en l'état et sont rarement comblées. Les plans d'eau de Haute-Garonne couvrent ainsi en 2005 une superficie estimée à 1522 hectares.

Le second objectif du projet a été d'évaluer l'impact quantitatif de ces nombreux plans d'eau sur la ressource en eaux souterraines, conséquence immédiate de l'ouverture des gravières.

Le cumul des différents phénomènes intervenant sur la nappe a mis en évidence l'importance du déficit généré par la création de ces plans d'eau présents sur la plaine.

Ainsi en année sèche, comme cela a été le cas en 2005, cet impact peut être très important, il représente un manque pour la nappe estimé entre 13 et 14 millions de mètre cube.

En considérant une année moyenne humide et pour des surfaces en eau identiques à 2005, cet impact s'amointrit tout en restant conséquent, avec un déficit pour la nappe évalué entre 9 et 10 millions de mètre cube.

A titre d'échelle de valeur, ces volumes représentent, en fonction du contexte climatique annuel, entre 5 et 7% de la réserve globale des nappes alluviales de la Garonne et de l'Ariège, estimée à environ 205 millions de m³.

Ces chiffres concernent l'ensemble des surfaces en eau présent sur le secteur d'étude sans distinction, gravières en exploitation, plans d'eau non réhabilités, ancienne zone d'extraction aménagée en base de loisirs. Dans un contexte de demande croissante en matériaux alluvionnaire, entraînant une augmentation des surfaces en eau sur la plaine alluviale de la Garonne et de l'Ariège, il semble opportun d'entreprendre une réflexion sur les types de réaménagements possibles, en fin ou en cours d'exploitation, destinés à limiter ces pertes en eau.

Par ailleurs, outre le déficit sur la ressource généré par la création de ces plans d'eau, il serait intéressant de connaître leur impact sur la piézométrie générale de la nappe à l'échelle du système alluvial dans son ensemble (fluctuations des niveaux, modifications des écoulements ou des échanges avec les cours d'eau....).

Les modèles mathématiques actuellement en cours de développement pourraient ainsi intégrer les données obtenues dans ce projet et permettre de tester différents scénarii d'évolution dans l'aménagement de la plaine alluviale (notamment lié à l'augmentation des étendues d'eau).

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS	9
1.2. LOCALISATION	10
2. Présentation des domaines alluviaux de la Garonne et de l'Ariège	13
2.1. DESCRIPTION GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE.....	13
2.1.1. Substratum des terrasses fluviales quaternaires	13
2.1.2. Présentation des formations quaternaires	15
2.2. PRESENTATION GENERALE DES NAPPES ALLUVIALES DE LA GARONNE ET DE L'ARIEGE	15
3. Exploitation de l'imagerie satellitaire.....	17
3.1. IMAGES SELECTIONNEES.....	17
3.1.1. Sélection du type d'image	17
3.1.2. Sélection des scènes utilisées.....	17
3.2. GEOREFERENCEMENT DES IMAGES	18
3.3. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL	19
3.3.1. Méthodologie de cartographie de l'occupation agricole du sol.....	19
3.3.2. Cas des zones bâties.....	19
3.3.3. Problème lié à la présence de nuages.....	21
3.3.4. Document final	21
3.4. ELEMENTS METHODOLOGIQUES DE CARTOGRAPHIE DES GRAVIERES EN EAU.....	21
4. Impact hydrodynamique des gravières sur le milieu alluvionnaire.....	25
4.1. IMPACT SUR LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS	25
4.2. MODIFICATION DES ECHANGES AVEC LE COURS D'EAU	27
4.3. CONSEQUENCE DES IMPACTS HYDRODYNAMIQUES	28
5. Estimation de l'impact volumétrique des gravières sur la ressource alluviale	29
5.1. REPARTITION DES PLANS D'EAU EN 2005	29
5.2. EVOLUTION DES SURFACES EN EAU.....	31

5.3. IMPACT DES GRAVIERES DE LA ZONE D'ETUDE SUR LA NAPPE ALLUVIALE DE LA GARONNE ET DE L'ARIEGE.....	33
5.3.1. Volumes d'eau évaporés au niveau des plans d'eau du secteur d'étude	33
5.3.2. Impact immédiat de l'extraction des matériaux alluvionnaires.....	36
5.3.3. Impact lié à la suppression de la recharge de la nappe sur les surfaces occupées par des gravières.....	37
5.3.4. Prélèvements destinés à l'irrigation	43
5.3.5. Mise en évidence générale de l'impact des gravières sur la ressource en eaux souterraines de la zone d'étude	43
6. Conclusion.....	47
7. Bibliographie	49

Liste des illustrations

Illustration 1 - Carte de localisation de la zone d'étude.....	10
Illustration 2 – Localisation de la zone d'étude sur une image LANDSAT (juin 1992)	11
Illustration 3 – Carte géologique simplifiée de Haute-Garonne (31)	14
Illustration 4 – Cartographie de l'occupation du sol extrait de CORINE Land Cover (2000).....	20
Illustration 5 - Masque des nuages et de leur ombre portée appliqué sur les images	21
Illustration 6 - Cartographie de l'occupation du sol en 2005 (nord de la vallée de l'Ariège).....	22
Illustration 7 - Exemple de masques appliqués aux nuages et à leurs ombres portées sur l'image de juin 2000.....	23
Illustration 8 – Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges non colmatées	26
Illustration 9 – Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges colmatées	26
Illustration 10 – Influence de l'orientation de la gravière	27
Illustration 11 – Effet de l'implantation d'une gravière en communication avec un cours d'eau sur la piézométrie de la nappe alluviale	28
Illustration 12 – Localisation des plans d'eau cartographiés sur le domaine alluvial de Haute-Garonne – Traitement des images satellitaires de 2005.....	30
Illustration 13 - Cartographie des zones en eaux en 1992, 2000 et 2005 (Zoom d'une partie de la zone d'étude)	31
Illustration 14 - Tableau de l'évolution des surfaces en eau entre 1992 et 2005.....	32
Illustration 15 - Exemple de l'accroissement d'une exploitation	32
Illustration 16 – Evolution des valeurs d'évaporation entre 1992 et 2006 estimées à partir des données climatiques de la station de Toulouse-Blagnac	35

Illustration 17 – Impact de l'évaporation au niveau des gravières de la zone d'étude en 1992, 2000 et 2005	36
Illustration 18 – Composants intervenant dans un bilan hydrologique	38
Illustration 19 - Grands ensembles morpho-pédologiques de la zone d'étude sur lesquels des plans d'eau ont été recensés en 2000 et 2005.....	40
Illustration 20 – Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la zone d'étude à partir de données d'ETP Penman corrigée (Kc caractéristique d'un sol nu pris à 0,5)	41
Illustration 21 – Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la zone d'étude à partir de données d'ETP Penman corrigée (Kc pris à 1,2 caractéristique d'un sol cultivé avec des plantes à leurs maximums foliaires)	42
Illustration 22 – Bilan de l'impact des gravières sur la nappe alluviale de la Garonne et l'Ariège	44
Illustration 23 – Estimation des réserves en eau par système aquifère	45

Liste des annexes

Annexe 1 - Cartographies des plans d'eau recensés sur le domaine alluvial de Haute-Garonne – Traitements des images satellitaires des années 1992 et 2000.....	51
Annexe 2 - Photographies de gravières visitées	57

1. Introduction

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS

Les alluvions de la plaine de la Garonne, et dans une moindre mesure celles de l'Ariège constituent les principaux gisements de sables et de graviers actuellement exploités dans le département de Haute-Garonne (31).

L'extraction de ces matériaux alluvionnaires a pour incidence directe d'entraîner l'apparition d'excavations plus ou moins importantes dans le paysage de la plaine. La présence de ces gravières dans un secteur où la surface piézométrique de la nappe alluviale est proche de la topographique génère le développement de plans d'eau dont la surface correspond à celle de la nappe.

L'implantation de ces gravières occasionne un certain nombre de perturbations hydrodynamiques sur la nappe alluviale, dont l'importance est fonction d'une part des caractéristiques hydrogéologiques des formations alluviales en place et d'autre part des paramètres propres à la gravière, telles que par exemple le degré de colmatage des berges. Cela peut se traduire par exemple par des modifications de la surface piézométrique à l'amont et à l'aval de l'excavation.

Une autre conséquence, non négligeable, sur la nappe alluviale est liée à l'évaporation du plan d'eau libre. En effet, cet impact est supposé supérieur à celui existant avant la création de l'excavation puisque les phénomènes d'évapotranspiration relevant de terrains recouverts de végétation naturelle ou de culture sont inférieurs à l'évaporation d'une surface en eau libre.

Dans un cadre de développement durable correspondant à une gestion maîtrisée de la ressource et devant l'augmentation, durant les dernières dizaines d'années, des exploitations de matériaux alluvionnaires dans la région, la DRIRE de Midi-Pyrénées a demandé au BRGM de réaliser une opération méthodologique. Celle-ci doit apporter des éléments objectifs pour l'évaluation de l'impact des gravières ouvertes sur les ressources en eaux souterraines dans le département de Haute-Garonne (31).

Cette action est financée par la DRIRE de Midi-Pyrénées, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, et par le BRGM dans le cadre de ses actions de Service Public (fiche 06 RES B05).

Un des premiers objectifs de cette étude est de quantifier, à partir d'images satellitaires, ces surfaces en eau issues de l'extraction de granulats dans le milieu alluvionnaire de Haute-Garonne. L'acquisition d'une chronique de données permettra d'analyser les évolutions sur plusieurs années.

Dans un second temps, l'ensemble des phénomènes liés au développement des gravières dans le domaine alluvial du département sera caractérisé afin de mettre en évidence l'impact de ces excavations, dépourvues de réhabilitation, sur la ressource alluviale.

1.2. LOCALISATION

Les zones alluviales constituent des gisements préférentiels en sables et graviers fournissant la matière première des chantiers du bâtiment et des travaux publics du département.

Le secteur d'étude est limité aux domaines alluviaux de la Garonne et de l'Ariège circonscrits au département de Haute-Garonne (31) (cf. Illustration 1). L'emprise de la vallée de la Garonne représente environ 140 kilomètres de long et 2 à 16 kilomètres de large. Celle de l'Ariège est estimée à environ 40 kilomètres de long, pour 3 à 6 kilomètres de large. La superficie totale est d'environ 1120 kilomètres carrés.

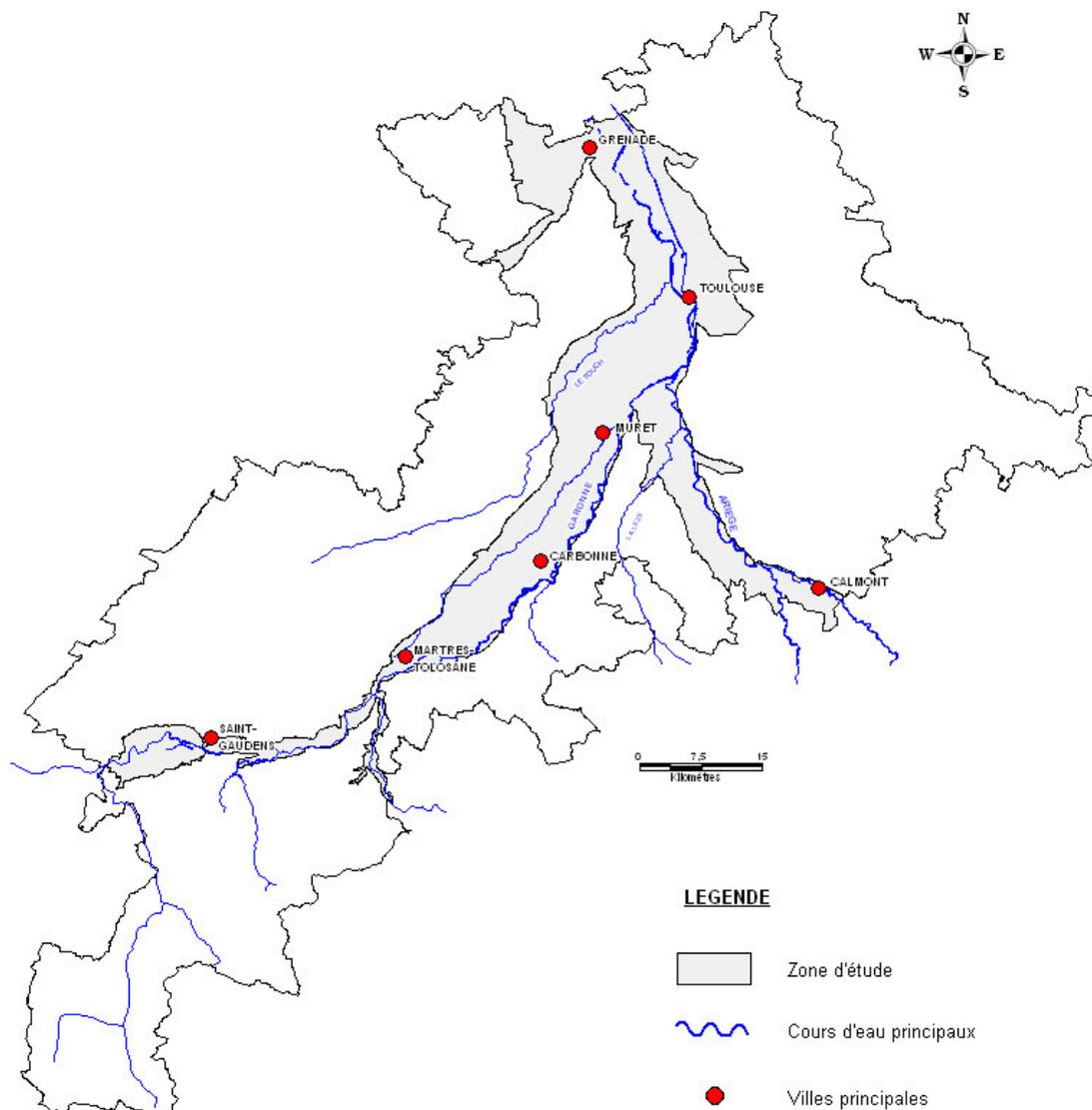


Illustration 1 - Carte de localisation de la zone d'étude

Le découpage de la zone étudiée est issu des contours des systèmes aquifères alluviaux de la version 1 du référentiel hydrogéologique français (BDRHF V1).

Le secteur d'étude correspond au tracé des limites des formations alluviales récentes, de celles des basses plaines et de celles des basses terrasses des vallées de la Garonne et de l'Ariège.

Les moyennes terrasses contiennent des matériaux ayant subi une altération poussée de leurs constituants. Ils sont le plus souvent impropres à des usages courants en bâtiments ou travaux publics. Seules les gravières situées dans le secteur nord (dans les environs de la commune de Grenade sur Garonne), où de rares plans d'eau ont été recensés, ont été incluses dans la zone d'étude.

L'ensemble étudié s'inscrit (cf. illustration 2) dans une scène du satellite LANDSAT Thematic Mapper (Landsat TM). Celle-ci possède des capacités spectrales adaptées au propos de l'étude et garantit l'homogénéité de l'information, grâce à la taille des scènes prises en compte. La surface couverte est de 180 kilomètres de côté.

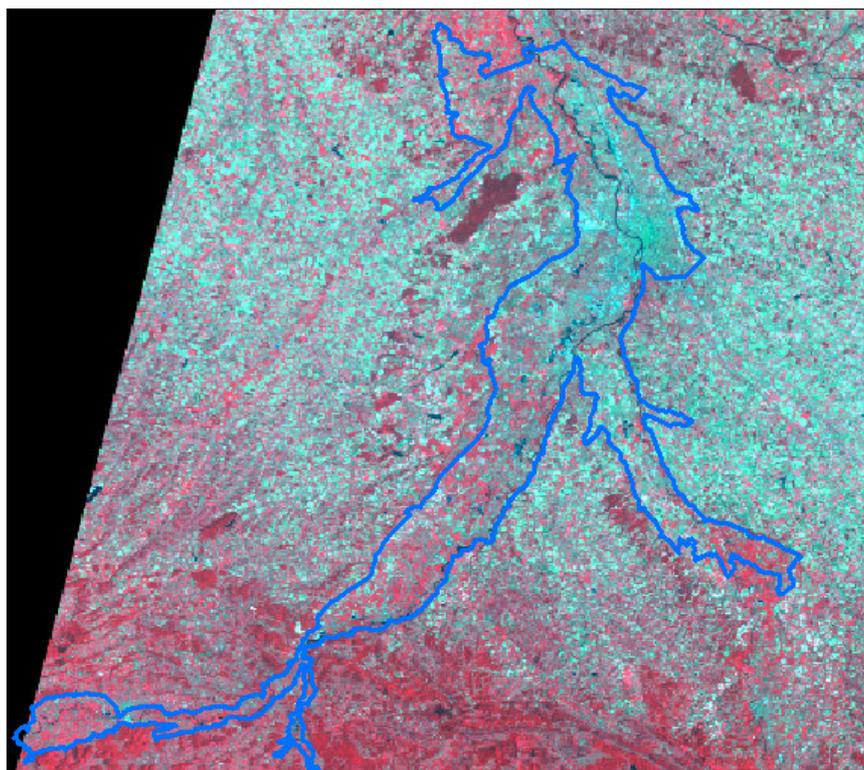


Illustration 2 – Localisation de la zone d'étude sur une image LANDSAT (juin 1992)

2. Présentation des domaines alluviaux de la Garonne et de l'Ariège

2.1. DESCRIPTION GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

Les plaines de la Garonne et de l'Ariège sont constituées de formations alluviales subhorizontales, déposées suivant un système en terrasses, correspondant à des phases successives de creusement du substratum et de dépôts de matériaux charriés par les cours d'eau.

Ces terrasses, situées à différentes altitudes, témoignent des variations du niveau de la Garonne et de l'Ariège. Suivant un profil transversal, les dépôts les plus anciens et altimétriquement les plus hauts sont localisés en bordure extérieure de la plaine alors que les plus récents, plus encaissés, sont déposés le long des lits actuels.

Globalement, les alluvions transportées par la Garonne et par l'Ariège se sont déposées, pour chaque terrasse, selon une séquence grano-classée relativement répétitive avec la succession de deux faciès principaux :

- un faciès grossier, à la base, constitué par des graviers et des galets entremêlés de sable plus ou moins argileux,
- un faciès de granulométrie plus fine, caractérisé par des argiles et des limons et venant recouvrir le précédent.

2.1.1. Substratum des terrasses fluviales quaternaires

La répartition des terrains constituant le substratum des terrasses alluviales de la zone d'étude est indiquée sur l'illustration 3.

Ces différents dépôts fluviaux reposent sur un substratum d'âge et de nature différents. Dans le département de Haute-Garonne (31), la Garonne et l'Ariège s'écoule majoritairement sur des formations molassiques oligo-miocènes (formations présentes sur les deux tiers du département).

Au sud de Martres-Tolosane, les entités géologiques sous-jacentes aux terrasses alluviales sont plus complexes avec notamment l'apparition des chaînons des Petites Pyrénées, constitués de formations sédimentaires calcaires et marneuses, datées du Crétacé supérieur à l'Eocène supérieur.

En rive droite de la Garonne, entre Montréjeau et Saint-Gaudens, les formations quaternaires reposent sur des séries mésozoïques anté-cénomaniennes, faisant partie de la zone plissée nord-pyrénéenne, présentant d'importants niveaux calcaires et dolomitiques karstifiés.

Toujours en rive droite, entre Saint-Gaudens et le sud de Martres-Tolosane, le substratum des alluvions de la plaine est caractérisé par des terrains paléozoïques calcaires pouvant être métamorphisés (présence de schistes ou de phyllade).

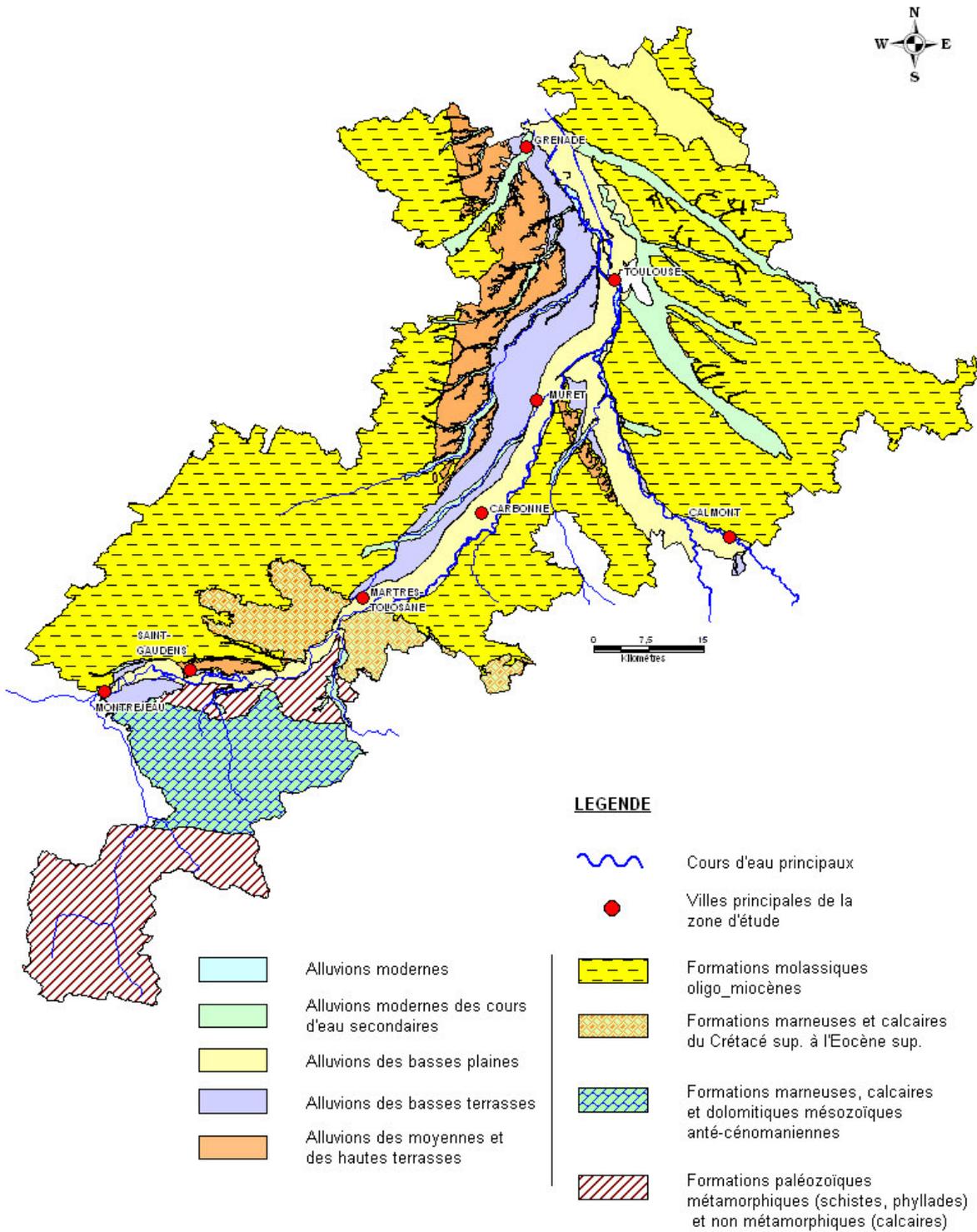


Illustration 3 – Carte géologique simplifiée de Haute-Garonne (31)

2.1.2. Présentation des formations quaternaires

Topographiquement, trois niveaux de terrasses peuvent être distingués dans la zone d'étude (cf. illustration 3).

Les alluvions anciennes des hautes et des moyennes terrasses se présentent généralement en lambeaux discontinus découpés par le réseau hydrographique secondaire. Ces dépôts sont bien développés en rive gauche de la Garonne entre Grenade et Carbonne (entre 4 et 10 kilomètres de large) et dans une moindre mesure, dans le secteur de Saint-Gaudens et dans le nord de la vallée de l'Ariège.

Ces alluvions sont constituées d'éléments roulés de quartz, de quartzite, de schistes, de grès ou de gneiss emballés dans une matrice argilo-sableuse. Ces matériaux ont, le plus souvent, subi une altération prononcée (décomposition des galets, rubéfaction et argilisation parfois presque totale). Ces sédiments détritiques sont recouverts par des couches superficielles limoneuses.

Les alluvions anciennes des basses terrasses apparaissent sur de plus vastes surfaces (sur 8 kilomètres de large au maximum) continues entre Martres-Tolosane et Grenade, en rive gauche de la Garonne. Elles se retrouvent sur une superficie moindre, au niveau de Montréjeau, de part et d'autre de la Garonne.

Concernant le nord de la vallée de l'Ariège, leur extension est plus réduite et plus morcelée. Elles se situent en rive gauche de l'Ariège de Miremont à Saubens et en rive droite de Auterive à Venerque.

Elles sont constitués par des matériaux caillouteux comportant les mêmes espèces pétrographiques que celles des niveaux supérieurs, généralement emballés dans une matrice argileuse ou limoneuse plus ou moins abondante. Ces dépôts sont recouverts de limons inégalement répartis et d'épaisseurs variables.

Les alluvions récentes des basses plaines et les alluvions modernes des lits majeurs de la Garonne et de l'Ariège sont présentes en continu de Grenade à Montréjeau et à Calmont. D'une largeur maximale de 7 kilomètres, ces terrasses sont surtout développées au niveau de la confluence de l'Ariège et de la Garonne.

Ces alluvions sont constituées de sables, de graviers et de galets, surmontés de couches superficielles limoneuses.

2.2. PRESENTATION GENERALE DES NAPPES ALLUVIALES DE LA GARONNE ET DE L'ARIEGE

Le contexte géologique de mise en place des différentes terrasses alluviales dans les vallées de la Garonne et de l'Ariège détermine le schéma hydrogéologique de ces zones. En effet, les alluvions peuvent être organisées de trois manières :

- en terrasses étagées, séparées par des affleurements de substratum,
- en terrasses étagées, connectées hydrauliquement,
- en terrasses emboîtées.

Ces caractéristiques géomorphologiques permettent de distinguer les aquifères suivants :

- **aquifère des alluvions des hautes terrasses,**

Les hautes terrasses apparaissent dans le paysage des plaines de la Garonne et de l'Ariège sous la forme de lambeaux de faible extension. La fraction argileuse y est importante du fait du degré d'altération élevé, induisant la présence d'alluvions de faible perméabilité. Les nappes d'eau existantes dans ces niveaux sont donc peu développées et d'extension réduite.

- **aquifère des alluvions des moyennes terrasses,**

Les moyennes terrasses sont d'extensions plus importantes, notamment en rive gauche de la Garonne entre Bérat et Grenade, toutefois l'altération y est très poussée et la perméabilité des terrains faible. Les nappes d'eau contenues dans ces formations sont par ailleurs perchées au dessus des terrasses inférieures, déconnectées hydrauliquement de ces dernières par l'affleurement d'un substratum imperméable (talus pouvant être, selon les secteurs, marneux, argileux, schisteux ou marno-calcaires).

- **aquifère des alluvions des basses terrasses, des basses plaines et des formations récentes**

Les alluvions récentes bordant les cours d'eau, celles des basses plaines et des basses terrasses renferment une seule nappe continue en relation hydraulique directe avec la Garonne et l'Ariège. En effet, aucune discontinuité, correspondant à des affleurements de substratum, n'est observée entre ces trois horizons dans le département de Haute-Garonne.

Les niveaux aquifères sont constitués par des formations de graviers grossiers et de lentilles sableuses perméables des basses terrasses, épaisses en moyenne de 4 à 6 mètres et par celles des basses plaines et des alluvions récentes lithologiquement assez semblables mais dont l'épaisseur est plus importante, variant entre 5 et 15 mètres.

La nappe alluviale de la Garonne soutient le débit du fleuve en l'alimentant pendant une grande partie de l'année et notamment en période estivale. Selon les secteurs et en fonction du degré d'encaissement du cours d'eau dans les formations sous-jacentes, le fleuve peut temporairement recharger la nappe en période de crue. Ce phénomène s'observe notamment dans sa partie sud, vers Ausson ou Pontat-Taillebourg.

La nappe alluviale de l'Ariège, soutient en revanche le débit de la rivière durant toute l'année. En effet, l'Ariège, encaissée de plusieurs mètres, coule dans un chenal alluvial sur les formations molassiques sous-jacentes.

Dans leur ensemble, la recharge de ces nappes est en grande partie assujettie aux précipitations atmosphériques et dans une moindre mesure aux apports provenant des terrasses sus-jacentes. Dans le secteur sud du domaine alluvial de la Garonne, les crues du fleuve peuvent également contribuer à alimenter la nappe. Par ailleurs, des apports d'eau en provenance des aquifères calcaires constituant le substratum de la plaine sont probables.

3. Exploitation de l'imagerie satellitaire

3.1. IMAGES SELECTIONNEES

3.1.1. Sélection du type d'image

Les données satellitaires haute résolution Landsat TM (30 x 30 mètres) ont été exploitées dans le but de disposer, sur le secteur d'étude correspondant aux formations alluviales de la Garonne et de l'Ariège, d'un état d'occupation du sol à la fois détaillé et récent.

Les traitements réalisés sont les suivants :

- une classification supervisée, basée sur les canaux du visible (bande 1 bleu, bande 2 vert et bande 3 rouge), du proche infrarouge (bande 4) et du moyen infrarouge (bandes 5 et 7), permet la réalisation d'une carte de l'occupation du sol. En effet, certaines valeurs numériques (ou réflectance), enregistrées dans chacun de ces canaux ou issues de leurs combinaisons, permettent d'identifier les « objets » recouvrant la surface de la terre : cultures, bois, sols nus, bâti, etc.,
- le canal du proche infrarouge est utilisé par seuillage pour extraire les zones d'eau libre. En effet, le rayonnement solaire correspondant à cette longueur d'onde est totalement absorbé par l'eau pure. Aucun retour ne se faisant vers le capteur du satellite, les zones d'eau libre et pure apparaissent en noir sur les images correspondantes. Des variations peuvent cependant apparaître lorsque l'eau est turbide ou très peu profonde induisant des réflectances. Ces cas de figure compliquent l'identification des plans d'eau.

De ce fait, l'acquisition d'un couple d'image de l'année 2005 est indispensable pour cartographier l'occupation du sol à cette date et dresser un inventaire actualisé des gravières en eau. Par contre, une seule image par année (1992 et 2000), dans le proche infra-rouge, est suffisante pour reconstituer l'historique d'évolution des plans d'eau (nombre et superficie) entre 1992 et 2005.

Malgré une résolution inférieure, les images Landsat (30 x 30 m) ont été préférées à celles proposées par le satellite SPOT (10 x 10 à 20 x 20 m). Ces dernières ont en effet une emprise plus réduite (60 x 60 km) conduisant à utiliser plusieurs images pour couvrir la zone d'étude. Outre la perte d'homogénéité de l'information originale, le coût d'achat et de traitement des données aurait été fortement augmenté.

3.1.2. Sélection des scènes utilisées

L'identification de l'occupation du sol, en particulier l'occupation agricole, est possible à partir d'un couple de scènes enregistré au cours d'un même cycle phénologique, soit, pour la région Midi-Pyrénées, l'acquisition d'images au printemps pour reconnaître les cultures d'hiver et en été pour celles de printemps.

- **Scènes utilisées pour la cartographie de l'occupation du sol**

La cartographie de l'occupation du sol de l'année 2005 a nécessité l'achat de deux images complémentaires, en raison d'un problème technique récurrent, survenu sur le satellite Landsat TM depuis 2003, correspondant à une défaillance du système d'acquisition sur certaines bandes spectrales. Ceci implique de compléter l'image de l'année utilisée par une image antérieure, correspondant à la même saison et disponible au catalogue. Finalement, les couples d'images suivants ont été sélectionnés :

- image Landsat 7 TM du 04 février 2005, complétée par une image du 19 mars 2003. Cette dernière se révélera relativement nuageuse,
- image Landsat 7 TM du 14 juillet 2005, complétée par une image du 22 juillet 2002.

Les mois de février et juillet ont été retenus pour les raisons suivantes :

- au 04 février, les blés sont talés et sont suffisamment couvrants pour donner une réponse spectrale identifiable,
- au 14 juillet, les moissons sont terminées et les cultures de maïs et de tournesol sont assez bien développées.

- **Scènes utilisées pour la cartographie historique des gravières**

La mise en évidence et la cartographie des gravières en eau ainsi que leur évolution, depuis dix ans (soit entre 1995 et 2005), dans le paysage de la plaine alluviale de la Garonne, s'est appuyé sur les images suivantes :

- une des images de 2005 déjà citées,
- une image Landsat 7 TM du 30 juin 2000, affectée par quelques nuages sur la zone d'étude,
- une image Landsat 4-5 TM du 26 juillet 1992, du fait qu'aucune donnée LANDSAT n'était disponible en catalogue, entre la fin de l'année 1992 et 1999.

3.2. GEOREFERENCEMENT DES IMAGES

Le premier traitement réalisé sur les images consiste à effectuer leur géoréférencement à partir des cartes topographiques de l'IGN à l'échelle du 1/25 000. Les informations apportées par les images peuvent être ainsi superposées, comparées et combinées. De plus, tous les renseignements cartographiques extraits de ces images peuvent être ainsi référencés dans le système de projection retenu (Lambert II étendu pour ce projet).

L'erreur maximale commise lors des corrections géométriques effectuées est inférieure à deux pixels, soit 60 mètres.

3.3. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

3.3.1. Méthodologie de cartographie de l'occupation agricole du sol

La cartographie de l'occupation agricole du sol a été réalisée par classification supervisée du couple d'images Landsat acquis notamment en février et juillet 2005. Cette méthode s'appuie sur la sélection et l'analyse de la réflectance de parcelles représentatives du paysage de la plaine alluviale de la Garonne.

Un exemple de l'intérêt d'utiliser des images « multidates » (bi-dates pour ce projet) pour la cartographie de l'occupation du sol peut être pris dans le cas de la différenciation d'une prairie et d'un champ de blé :

- au printemps, le blé est couvrant et sa radiométrie est proche de celle d'une prairie. Sur l'image, des confusions dans la classification des pixels correspondant à ces deux parcelles sont alors possibles,
- en été, en revanche, le chaume sec du blé s'assimile à un sol nu alors que la prairie présente toujours une intense activité chlorophyllienne. La comparaison des deux images à ces deux époques différentes permet alors de classer sans ambiguïté les pixels correspondant aux blés et ceux se rapportant aux prairies.

Ainsi, les classifications intéressant la végétation s'appuient au maximum sur des données « bi-dates » permettant de reconnaître l'occupation de la même parcelle en fonction de deux stades caractéristiques de son évolution phénologique.

La classification « bi-dates » permet le plus souvent d'identifier les principales composantes de l'occupation du sol telles que :

- les zones de sols nus,
- les zones enherbées,
- les zones boisées,
- les zones de cultures irriguées (principalement le maïs en cultures d'été),
- les cultures non irriguées (cultures d'hiver).

3.3.2. Cas des zones bâties

Les zones urbaines et industrielles, dont la réflectance est très proche de celle des sols nus, induisent des confusions. Pour pallier cet écueil, ces secteurs ont été identifiés à partir de la base de données géographiques CORINE Land Cover (2000). Celle-ci est produite dans le cadre du programme européen CORINE de coordination de l'information sur l'environnement. Elle repose sur une nomenclature standard hiérarchisée à 3 niveaux et 44 postes répartis selon 5 grands types d'occupation du territoire. L'Institut Français de l'Environnement (IFEN) en assure la production, la maintenance et la diffusion pour la France. (<http://www.ifen.fr/donIndic/Donnees/corine/nomenclature.htm>). L'illustration 4 figure l'occupation du sol sur le secteur d'étude.

Le contour des territoires artificialisés de la zone d'étude a été extrait et appliqué sur chaque image comme masque lors des opérations de classification.

Les dits territoires artificialisés sont les suivants :

- les zones urbanisées incluant le tissu urbain continu et le tissu urbain discontinu,
- les zones industrielles ou commerciales et les réseaux de communication dont les réseaux routiers et ferroviaires et les espaces associés et les aéroports.

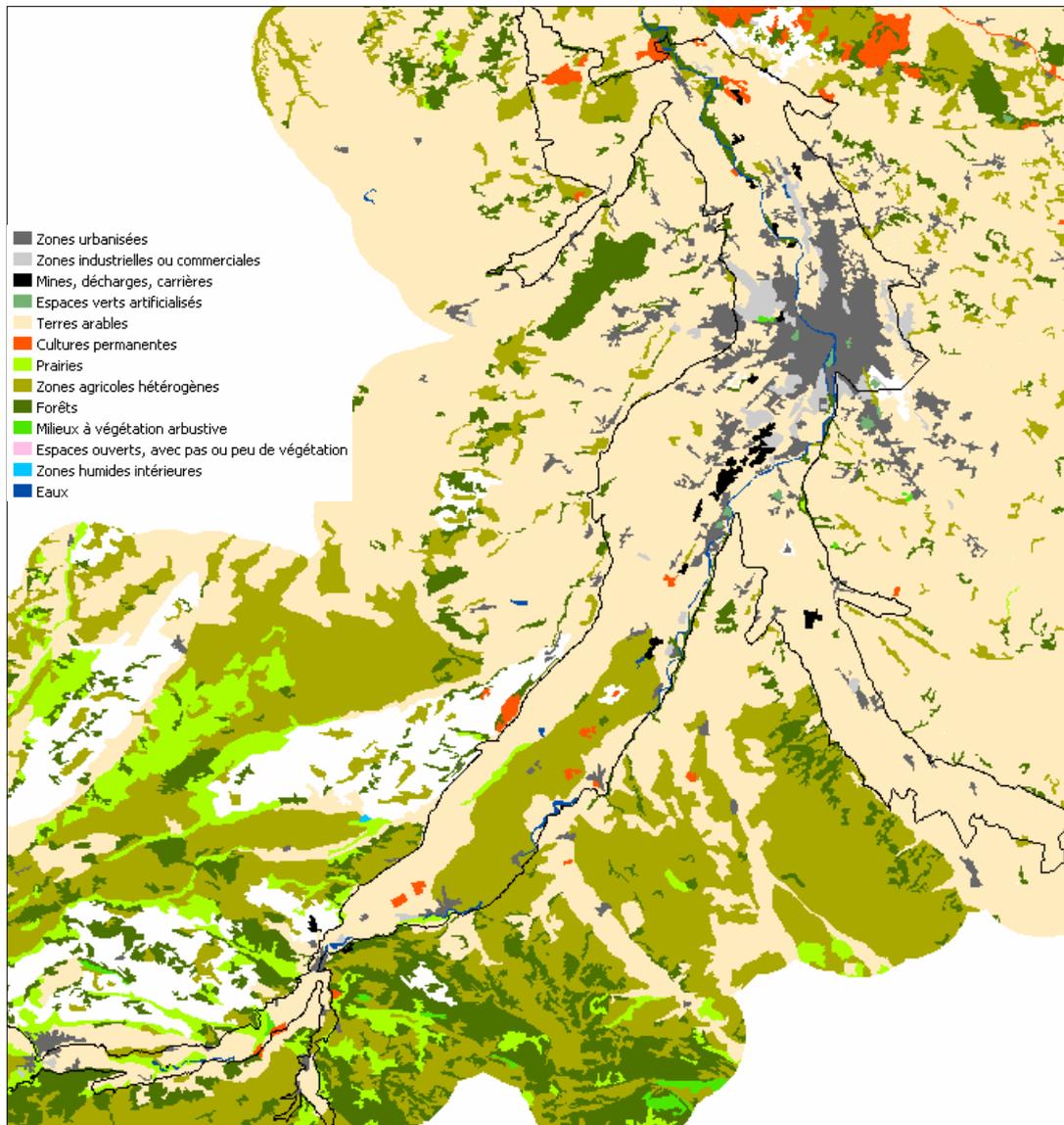


Illustration 4 – Cartographie de l'occupation du sol extrait de CORINE Land Cover (2000)

3.3.3. Problème lié à la présence de nuages

L'image acquise en février 2005 présente une couverture nuageuse plus ou moins diffuse, perturbant la classification en occasionnant des variations de la signature spectrale dans les zones recouvertes par les nuages. L'illustration 5 figure un exemple des masques appliqués pour éliminer ces interférences.

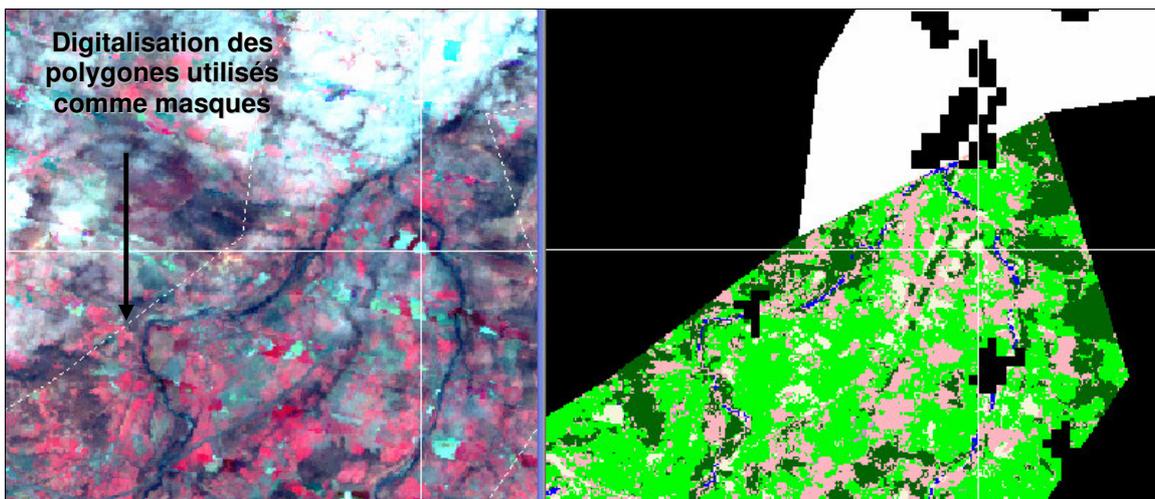


Illustration 5 - Masque des nuages et de leur ombre portée appliqué sur les images

3.3.4. Document final

L'illustration 6 met en évidence un exemple de la cartographie de l'occupation du sol obtenu par classification. Un tel document ne saurait être comparé, localement, à une carte *sensu stricto* dans la mesure où les classifications, malgré toutes les précautions prises, génèrent des confusions entre des pixels de classes différentes (pixels impurs aux limites de parcelles, variation d'état phénologique de la végétation au sein d'une même parcelle, etc.).

Toutefois, le taux d'imprécision est jugé acceptable pour des confusions entre classes de l'ordre de 10 à 15%. Cela permet d'obtenir un document final d'une précision suffisante pour le propos de l'étude.

3.4. ELEMENTS METHODOLOGIQUES DE CARTOGRAPHIE DES GRAVIERES EN EAU

La cartographie des surfaces d'eau libre apparaissant dans le paysage lors de l'acquisition de l'image (gravières, plans d'eau non exploités, bases de loisirs) est issue de la classification supervisée et du seuillage s'appuyant sur le canal proche infrarouge comme évoqué ci avant.

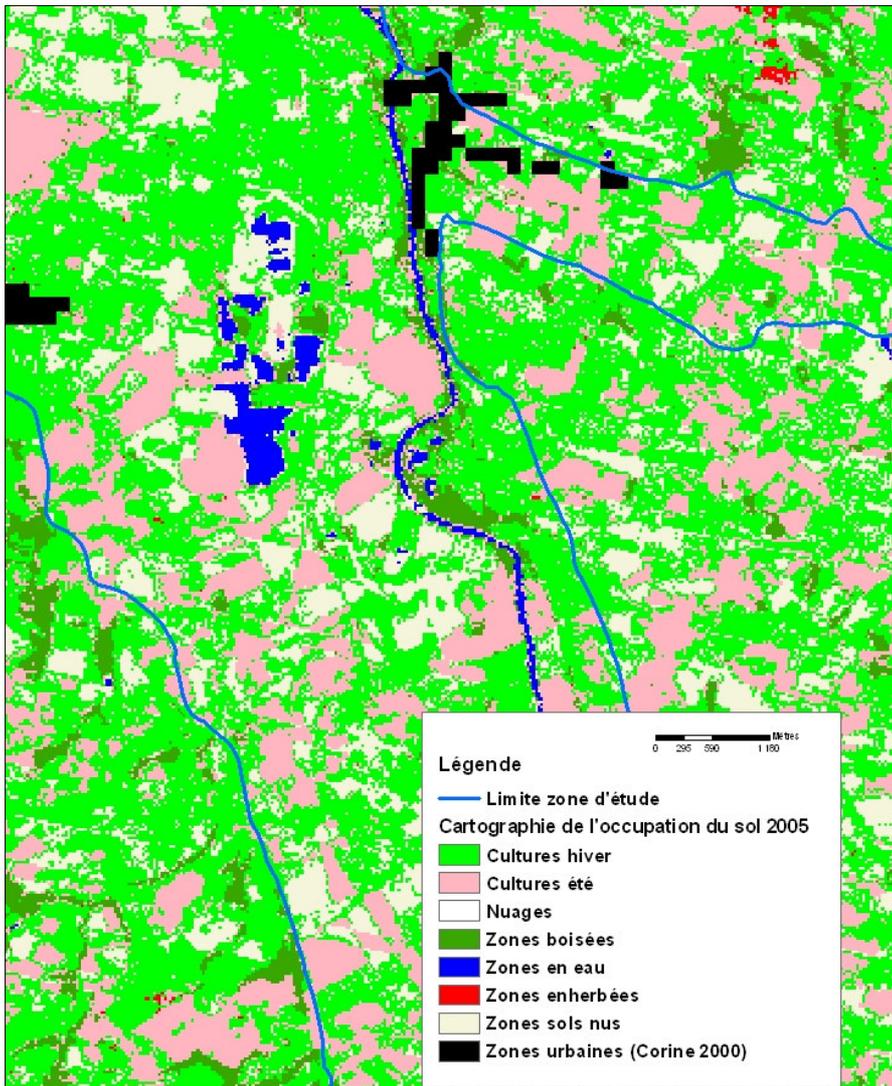


Illustration 6 - Cartographie de l'occupation du sol en 2005 (nord de la vallée de l'Ariège)

Ce travail repose sur la sélection et l'analyse de la réflectance d'un échantillonnage de plans d'eau utilisés comme références et présentant des états de surface différents. En effet, la variation de réflectance des plans d'eau, liée à l'épaisseur de la lame d'eau et/ou à leur teneur en matière en suspension minérale et/ou organique les fera apparaître sous des couleurs différentes :

- noir ou bleu noir pour les eaux pures,
- vert ou marron plus ou moins foncé pour les eaux turbides et/ou de faible épaisseur.

Comme indiqué antérieurement, cette opération de classification des surfaces en eau a été réalisée sur les 3 images retenues pour constituer la chronique décrivant l'évolution des gravières (nombre et superficie). Outre les plans d'eau, 3 classes d'occupation du

sol ont été distinguées pour décrire sommairement le paysage : les sols nus, la végétation couvrante et la végétation peu abondante.

Pour les mêmes raisons énoncées dans le chapitre 2.3, les zones urbaines et industrielles ont été masquées, via l'utilisation de la base de données géographiques CORINE Land Cover.

De la même manière, un masque a été généré au nord et au sud du secteur d'étude pour supprimer, sur l'image de juin 2000, les perturbations inhérentes à la présence de nuages et de leurs ombres portées. L'illustration 7 montre le masque appliqué pour éliminer autant que possible ces interférences.

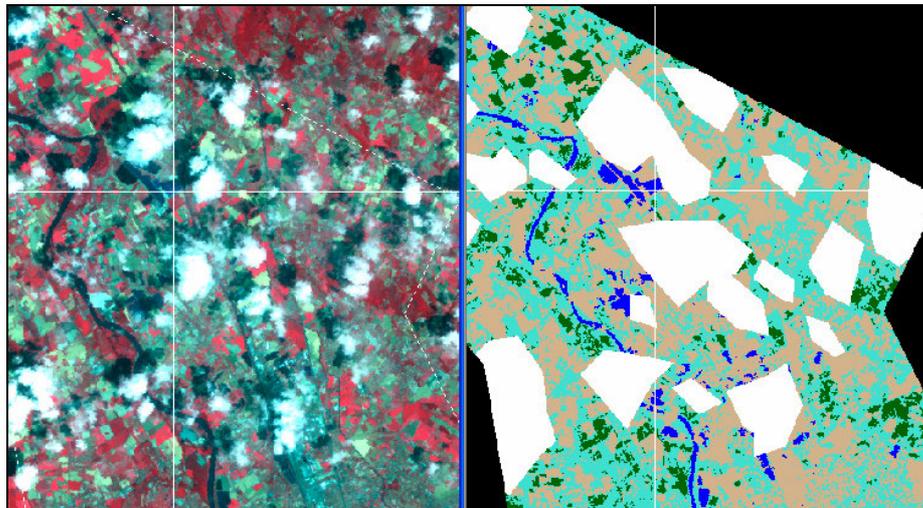


Illustration 7 - Exemple de masques appliqués aux nuages et à leurs ombres portées sur l'image de juin 2000

4. Impact hydrodynamique des gravières sur le milieu alluvionnaire

Ce chapitre est destiné à rappeler succinctement les différents impacts occasionnés par l'extraction de granulats sur un plan hydrodynamique. En effet, dans une plaine alluviale, la surface piézométrique de la nappe est généralement proche de la surface topographique (quelques mètres de profondeur). La création d'excavation génère donc des perturbations de nature très diverses sur la nappe alluviale et sur les échanges entre celle-ci et le cours d'eau.

L'extraction de granulats en plaine alluviale est généralement synonyme de création de plans d'eau, responsables de pertes par évaporation. Cet impact, objet du présent rapport, est développé dans le chapitre 5.

4.1. IMPACT SUR LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS

L'implantation d'une gravière dans ce type de milieu aquifère revient à remplacer la matrice poreuse par une zone ayant une porosité de 100 % et une transmissivité infinie.

L'incidence hydrodynamique d'une gravière sur la nappe est liée à l'importance des débits échangés. Ainsi, les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère, à savoir l'extension de la nappe, son gradient hydraulique, son mode d'alimentation, l'anisotropie des matériaux alluvionnaires, vont conditionner ces échanges. La profondeur de l'excavation, sa position, sa forme, sa taille, son orientation par rapport au sens d'écoulement de la nappe, le colmatage de ses berges vont également influer sur la piézométrie de la nappe et donc sur les débits échangés.

L'extraction des alluvions entraîne un phénomène de basculement de la surface du plan d'eau ainsi créé. Celui-ci s'équilibre alors à l'horizontale (ou sub-horizontale) tandis que la nappe voit ses gradients hydrauliques modifiés aux abords de la gravière. L'importance de ce phénomène est fonction du gradient hydraulique initial (avant création de la gravière), de la taille de l'étendue d'eau, de son orientation par rapport à la direction des écoulements souterrains et du colmatage de ses berges.

Ainsi, une excavation non colmatée génère en parallèle les phénomènes suivants (cf. illustration 8) :

- un abaissement du niveau du plan d'eau et une convergence des écoulements de la nappe à l'amont traduisant un apport d'eau de la nappe vers la gravière (drainage),
- une élévation du niveau du plan d'eau et une divergence des écoulements de la nappe à l'aval traduisant une restitution de l'eau de la gravière à la nappe (alimentation).

Ces perturbations s'accompagnent localement d'une augmentation du gradient hydraulique.

A contrario, les gravières dont les berges et le fond sont colmatés créent un obstacle dans l'écoulement de la nappe, entraînant une élévation piézométrique à l'amont immédiat et un rabattement à l'aval par rapport à l'état initial du site (cf. illustration 9).

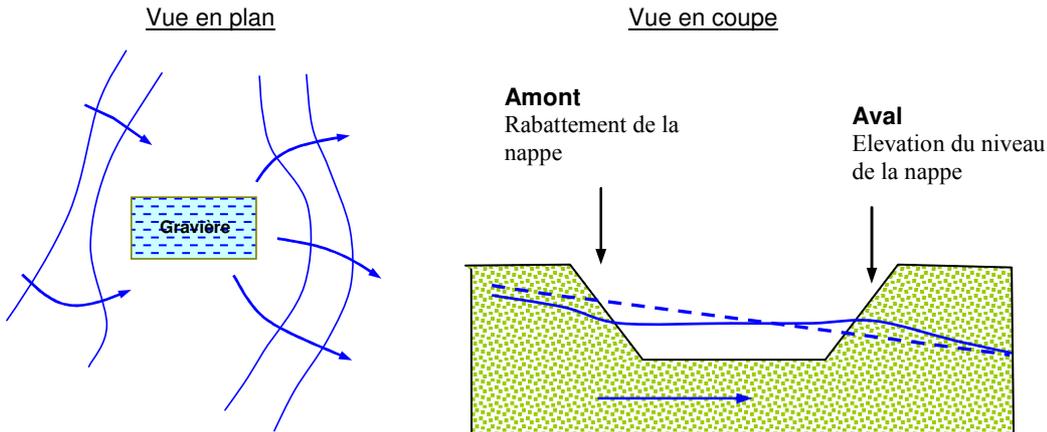


Illustration 8 – Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges non colmatées

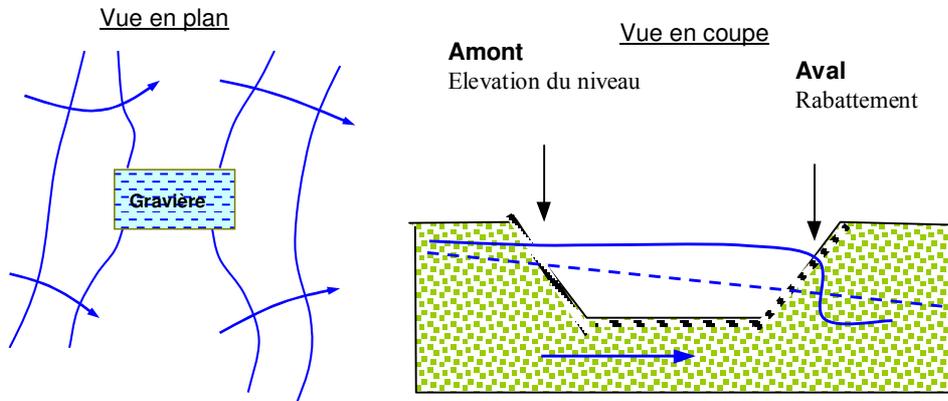


Illustration 9 – Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges colmatées

Par ailleurs, une gravière dont le sens de plus grande extension est parallèle au sens d'écoulement de la nappe a un impact piézométrique plus important qu'une exploitation de même forme implantée perpendiculairement à celui-ci (cf. illustration 10).

Une série de gravières de petites dimensions orientées dans le sens de la nappe aura approximativement le même effet de basculement qu'un seul plan d'eau couvrant une surface équivalente. Toutefois, dans le cas où leurs berges seraient colmatées, une succession d'excavation aura un impact plus faible qu'une gravière d'un seul tenant.

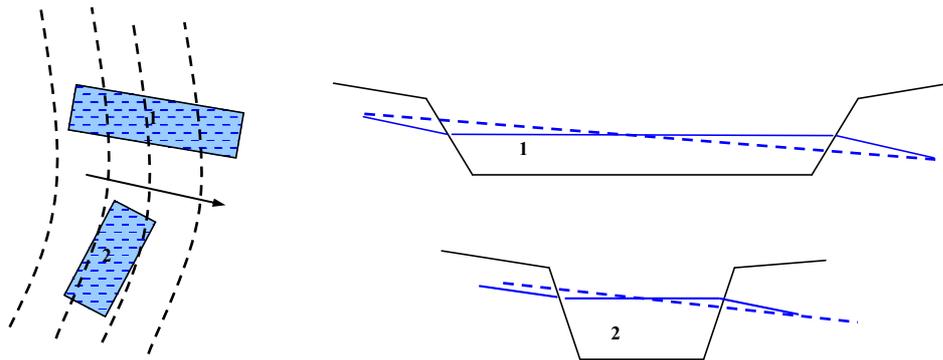


Illustration 10 – Influence de l'orientation de la gravière

Le remblayage de certains secteurs d'extractions par les matériaux de remblai (déblai de couverture, fines de lavage) aura également un impact sur les écoulements de la nappe en créant des zones de plus faibles perméabilité par rapport aux formations en place. A l'identique des phénomènes de colmatage, ces travaux induisent une remontée du niveau d'eau à l'amont de la surface comblée et un rabattement à l'aval.

4.2. MODIFICATION DES ECHANGES AVEC LE COURS D'EAU

L'implantation d'une gravière à proximité d'un cours d'eau peut provoquer des perturbations locales dans les échanges s'opérant naturellement entre la nappe alluviale et la rivière (modifications du sens et de l'importance des échanges).

Les aquifères alluviaux sont en relation étroite avec les cours d'eau, qu'il s'agisse d'une recharge de la nappe par la rivière en période de hautes eaux ou au contraire d'une alimentation de la rivière par la nappe et du soutien de son débit en période d'étiage.

Lorsqu'une excavation est installée, une partie de l'eau de la rivière passe par celle-ci à travers ses berges puis des alluvions. Les échanges entre la nappe et le cours d'eau sont alors modifiés. Le niveau du plan d'eau étant imposé par celui du cours d'eau (et non par la nappe), la nappe est alors soit alimentée par la gravière en période de hautes eaux, soit drainée par celle-ci en étiage.

Par ailleurs, dans le cas d'une exploitation en communication directe avec un cours d'eau et allongée parallèlement à ce dernier, la position de l'ouverture joue un rôle important. Située à l'aval, elle provoquera un drainage de la nappe et positionnée à l'amont, elle entraînera son alimentation (cf. illustration 11).

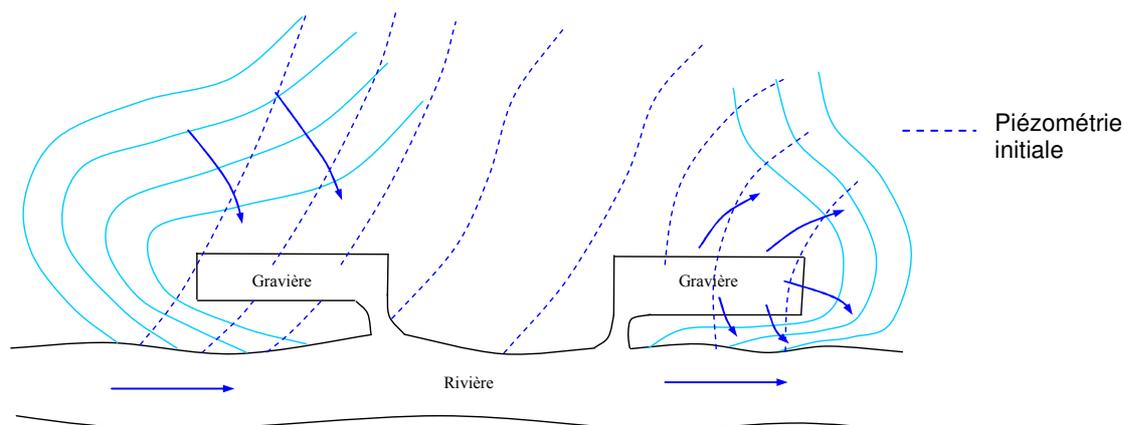


Illustration 11 – Effet de l'implantation d'une gravière en communication avec un cours d'eau sur la piézométrie de la nappe alluviale

4.3. CONSEQUENCE DES IMPACTS HYDRODYNAMIQUES

Les extractions de matériaux alluvionnaires ont un impact hydrodynamique, se traduisant par une modification du régime d'écoulement de la nappe au voisinage des sites, susceptible de provoquer localement des assèchements ou des inondations. Ces perturbations ont un rayon d'influence variable, de quelques mètres à plusieurs centaines mètres, les variations piézométriques étant de l'ordre de quelques centimètres à plusieurs mètres selon le contexte d'exploitation.

Les effets sur la productivité de captages d'eau implantés aux abords d'excavation peuvent être positifs ou négatifs en fonction de leurs localisations par rapport à la gravière (à l'amont ou à l'aval) et de l'état de colmatage des berges. Lorsqu'elles ne sont pas colmatées et que le site d'extraction se trouve à l'intérieur du cône d'appel de l'ouvrage, la gravière constitue une zone d'alimentation préférentielle augmentant sa productivité. Toutefois, la grande vulnérabilité de ces plans d'eau vis à vis des pollutions nécessite une protection renforcée de ces sites.

Les abaissements de nappe peuvent provoquer des modifications pédologiques et écologiques du milieu dont l'ampleur est fonction de l'amplitude observée. Les évolutions de sols par assèchement provoquent des détériorations (fissures) liées au tassement des terrains consécutif à un rabattement de nappe. Les gravières contribuent également, par effet de drainage, à la disparition de zones humides naturelles jouant un rôle tampon essentiel dans la régulation des crues.

A contrario, les remontées de nappe engendrées par les gravières peuvent induire une hydromorphie des sols agricoles susceptible de s'avérer préjudiciable dans certains cas.

Le colmatage des berges peut être minimisé par un talutage approprié de la partie immergée des berges dans les alluvions grossières en place. Ces travaux permettent de maintenir des échanges d'eau conséquents entre la nappe et la gravière et assurent ainsi un bon renouvellement de l'eau.

5. Estimation de l'impact volumétrique des gravières sur la ressource alluviale

5.1. REPARTITION DES PLANS D'EAU EN 2005

Les différentes classifications réalisées en 1992, 2000 et 2005 ont permis d'une part, d'identifier les plans d'eau de la zone d'étude et d'autre part, d'évaluer la superficie totale de chacun d'eux. Toutefois, du fait de la résolution spatiale des images LANDSAT utilisées (30 x 30m), seuls les objets dont la surface est supérieure à un pixel (soit environ 900 m²) peuvent être, en théorie, pris en compte.

Pour tenir compte des pixels impurs (occupés partiellement par un plan d'eau), seuls seront retenus les plans d'eau dont la surface est supérieure à un demi-hectare, soit environ 5 pixels. Ce seuil n'introduit probablement pas de biais significatif dans l'estimation des surfaces en eau des gravières. En effet, les plans d'eau de surface inférieure au demi hectare, soit environ 1% des gravières les plus étendues, correspondent le plus souvent à des retenus collinaires non intégrées dans la problématique de l'actuel projet. Au-delà de ce filtrage, un certain nombre de visites de terrain a été effectué. Elles ont permis de corriger certaines erreurs, toutefois eu égard à la dimension des plans d'eau recherchés, des confusions peuvent toujours subsister.

Sur l'illustration 12 est figurée la répartition des plans d'eau issue de la classification de l'image de 2005. Les cartographies correspondantes aux années 1992 et 2000 sont présentes en annexe 1

La majorité d'entre eux se situent dans les alluvions des basses plaines de la Garonne et de l'Ariège. En effet, ces dépôts, composés de sables-graviers-galets, sont généralement « propres » d'un point de vue géotechnique (non pollués par du matériel argileux), et constituent ainsi des zones préférentielles d'extraction.

Parmi ces gravières en eau, sept d'entre-elles ont des superficies comprises entre 30 et 45 hectares. Les plus importantes, identifiées comme étant en exploitation d'après les données collectées en 2000 pour la réalisation du schéma départemental des carrières de la Haute-Garonne, sont situées sur les communes de Grenade sur Garonne (au lieu-dit Bagnols Lamothe), de Muret et de Seysses (au lieu-dit Le Pechieu), de Saint-Elix-Le-Château (au lieu dit Pichet) et du Vernet (au lieu-dit Mazade-Bordeneuve). Des photographies figurant certains de ces sites se trouvent en annexe 2

Les alluvions des basses terrasses sont également concernées par des extractions sur certains sites. Ils sont toutefois moins nombreux et de moins grande ampleur. Les plus importants encore en activité, selon les mêmes sources, sont ceux de Fonsorbes (lieu-dit Bidot) et de Frouzins (lieu-dit Bordeneuve) avec des superficies comprises entre 15 et 20 hectares.

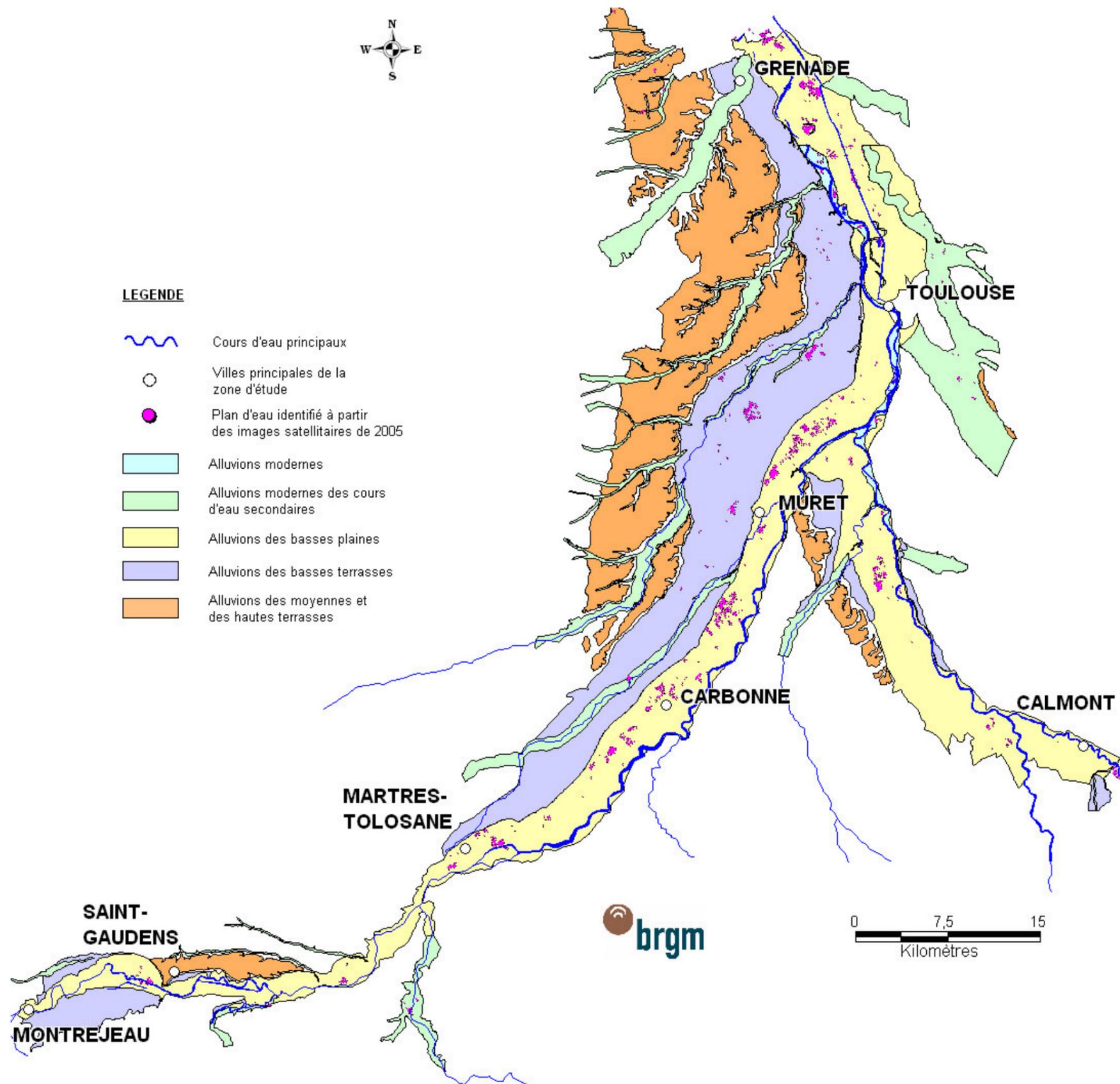


Illustration 12 – Localisation des plans d'eau cartographiés sur le domaine alluvial de Haute-Garonne – Traitement des images satellitaires de 2005

La qualité des matériaux des basses terrasses est globalement moins bonne que celle des alluvions plus récentes (basses plaines et lit majeur) mais elles peuvent localement présenter des gisements intéressants, utilisés comme tout-venant en viabilité ou en terrassements divers.

Par ailleurs, l'actuel centre de sports et de loisirs de la Ramée, ancienne gravière réhabilitée, d'une superficie d'environ 40 hectares est également implanté sur les basses terrasses.

Concernant les moyennes terrasses du nord de la zone d'étude, une dizaine de plans d'eau supérieure à 0,5 hectare a été identifiée vers le nord-ouest de Grenade sur Garonne (commune de Saint-Cézert). Suites aux visites de terrain effectuées, ces étendus d'eau se sont avérées être en définitive des retenues artificielles destinées à l'irrigation des cultures environnantes. Ces surfaces n'ont donc pas été prises en compte dans le projet.

5.2. EVOLUTION DES SURFACES EN EAU

L'analyse de l'évolution des gravières en eau depuis dix ans, s'est appuyée sur la comparaison des classifications des images choisies pour établir la chronique historique, à savoir celles acquises en juillet 1992, en juin 2000 et en juillet 2005. L'illustration 13 montre des extraits de ces classifications où les zones colorées en bleu correspondent aux surfaces en eau libre supérieures à un demi-hectare. Y sont incluses les entités suivantes :

- les gravières en exploitation,
- les anciennes gravières,
- les plans d'eau destinés aux loisirs.

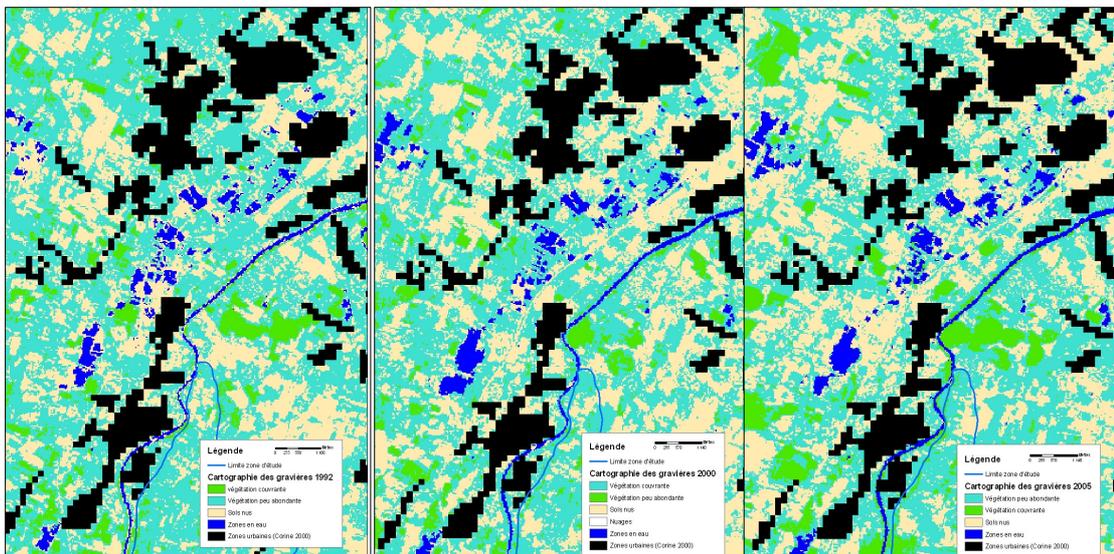


Illustration 13 - Cartographie des zones en eau en 1992, 2000 et 2005 (Zoom d'une partie de la zone d'étude)

Le tableau de l'illustration 14 témoigne du développement croissant des surfaces en eau libre dans la plaine alluviale de la Garonne. Cette augmentation est principalement provoquée par l'accroissement, en nombre et en superficie, des exploitations de granulats. Ainsi, pour l'ensemble de la zone d'étude, les surfaces en eau libre ont pratiquement doublé en 13 ans dans la mesure où les anciennes gravières restent le plus souvent en l'état et sont rarement comblées. Certaines sont réhabilitées en base de loisirs.

	Zones en eau juillet 1992	Zones en eau juin 2000	Zones en eau juillet 2005	Remarques
Total des surfaces (ha) entre 0,5 et 1 ha	66	92	117	En 2000 des nuages perturbent la cartographie des zones en eaux
Total des surfaces (ha) sup. à 1 ha	707	1010	1405	
Evolution en % des zones en eau par rapport à 1992		+ 43	+ 97	

Illustration 14 - Tableau de l'évolution des surfaces en eau entre 1992 et 2005

Cette augmentation des surfaces en eau libre, évaluée à l'échelle de la zone d'étude, peut être illustrée par un zoom réalisé au niveau d'une exploitation située à l'ouest de Frouzins (cf. illustration 15). Peu développée en 1992, l'exploitation a connu par la suite une expansion continue importante, comme en témoigne les données enregistrées en 2000 puis en 2005.

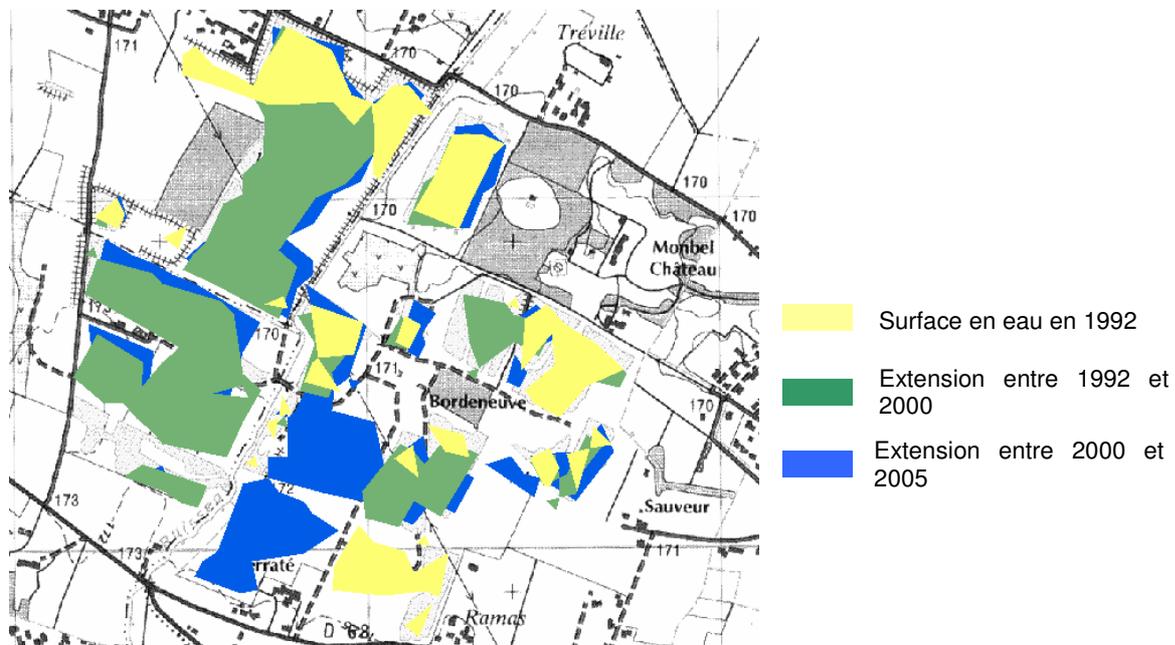


Illustration 15 - Exemple de l'accroissement d'une exploitation

5.3. IMPACT DES GRAVIERES DE LA ZONE D'ETUDE SUR LA NAPPE ALLUVIALE DE LA GARONNE ET DE L'ARIEGE

L'évaluation de l'impact des gravières sur la nappe alluviale de la Garonne et de l'Ariège nécessite de prendre en considération deux stades :

- avant la création d'excavations dans les terrains, où la recharge de la nappe alluviale est assurée par les précipitations efficaces s'infiltrant dans le sol (dépendant de la nature des sols (RU) et de leur occupation),
- actuellement, où les formations alluvionnaires ont été remplacées par l'eau de la nappe et où les phénomènes d'évaporation ou de recharge des plans d'eau ne sont plus régis que par les phénomènes climatiques (Pluies et Evaporation)

5.3.1. Volumes d'eau évaporés au niveau des plans d'eau du secteur d'étude

a) Généralités

Les pertes d'eau par émission de vapeur d'eau ou évapotranspiration s'effectuent dans tous les milieux. Elles résultent de deux phénomènes, l'un physique l'évaporation intervenant à la surface des étendus d'eau (lacs, cours d'eau...), l'autre biologique, la transpiration provenant de la couverture végétale.

La quantité d'eau évaporée par un stock d'eau libre (type lacs ou gravières) est l'évaporation potentielle (EP). Elle est déterminée par les caractéristiques de l'air fixant le pouvoir évaporant de l'atmosphère et de la surface d'eau libre. Elle est ainsi fonction des conditions suivantes :

- de la température de l'air et de celle de la surface évaporante,
- du rayonnement net,
- de la vitesse du vent au niveau de la surface,
- de la différence entre la tension de vapeur saturante de l'air à la température de la surface évaporante et de la tension de vapeur réelle de l'air,
- de la pression atmosphérique,
- de la nature de la surface et de la disponibilité de l'eau au niveau de celle-ci.

L'évaporation peut être estimée indirectement à partir de mesures de facteurs physiques, tels que la température (minimale et maximale), la vitesse moyenne du vent à dix mètres, la tension de vapeur moyenne, la durée d'insolation et le rayonnement solaire global au sol. Son calcul est alors effectué en utilisant l'ensemble de ces paramètres de base, à l'aide de formule empirique, du type de celle de Penman.

L'évaporation peut aussi être mesurée de manière directe, au moyen d'instruments de mesures particuliers, tels que les évaporimètres ou les bacs d'évaporation.

b) Evaluation de l'impact de l'évaporation au niveau des gravières

Différents paramètres hydrologiques définissent l'équilibre du niveau d'une gravière sur une période donnée. L'expression du bilan à cette échelle est la suivante :

$$P + (Na - Ne) - E = \Delta H$$

où P : précipitations tombée sur la gravière en mm

(Na - Ne) : flux de la nappe en mm par m² de surface de la gravière, avec Na le volume d'entrée et Ne celui de sortie,

E : lame d'eau évaporée, en mm, à la surface de la gravière,

ΔH : variation de la hauteur d'eau dans la gravière, en mm

L'alimentation indirecte de la gravière par l'eau de ruissellement n'est pas prise en compte pour l'établissement du bilan. En effet, hors cas particulier, les exploitations sont aménagées de façon à éviter l'intrusion d'eaux de surface pouvant occasionner des pollutions dans la nappe. Les visites effectuées sur différents sites de la zone d'étude ont confirmé cet état de fait.

Le flux de la nappe (Na-Ne) permet de maintenir une certaine hauteur d'eau dans la gravière. Il est fonction de la perméabilité de l'aquifère, du gradient hydraulique de la nappe et surtout des caractéristiques de l'étendue d'eau (profondeur, taille, orientation par rapport au sens d'écoulement de la nappe, colmatage des berges), paramètres très disparates d'un site à un autre.

Dans la majorité des sites, le battement annuel du niveau d'eau des gravières est en moyenne peu marqué (de l'ordre de quelques centimètres). En effet, à l'échelle d'une zone d'extraction, le flux de la nappe permet généralement de compenser l'impact de l'évaporation du plan d'eau.

Lors des périodes hivernales (entre novembre et février), les précipitations sont généralement supérieures à l'évaporation observée sur le plan d'eau. A cette époque, et en fonction du colmatage du site, la nappe est rechargée au niveau de la gravière. A contrario, au cours des autres mois de l'année, l'évaporation devient prépondérante par rapport aux précipitations, induisant une perte pour la nappe. Sur une année complète, le bilan de la recharge du système alluvial devient négatif (l'évaporation étant annuellement supérieure aux précipitations).

A l'échelle d'un cycle annuel, le bilan caractérisant l'équilibre du niveau d'eau d'une gravière et prenant en compte les précipitations, le flux de la nappe et l'évaporation du plan d'eau peut être considéré comme étant à l'équilibre (sans variations inter-annuelles liées à un déficit en eau chronique et se traduisant par une baisse continue des niveaux). La variation de hauteur d'eau dans la gravière étant négligeable ($\Delta H=0$), le flux de la nappe correspond alors aux valeurs des précipitations soustraites à l'évaporation (P-E). A l'échelle annuelle, ce terme étant négatif, cela se traduit par un déficit en eau, compensé par la nappe.

Les données relatives à l'estimation de l'évaporation sur la période comprise entre 1992 et 2006 ont été collectées auprès de MétéoFrance. Elles concernent la station de Toulouse-Blagnac où des mesures de rayonnement sont effectuées. L'évaporation a été estimée à partir de la formule de Penman. En l'absence d'autres sites dans le département disposant de ce type d'informations, ces valeurs ont été appliquées à l'ensemble de la zone d'étude. Le graphique de l'illustration 16 témoigne de l'évolution de l'évaporation pour la période 1992 - 2005.

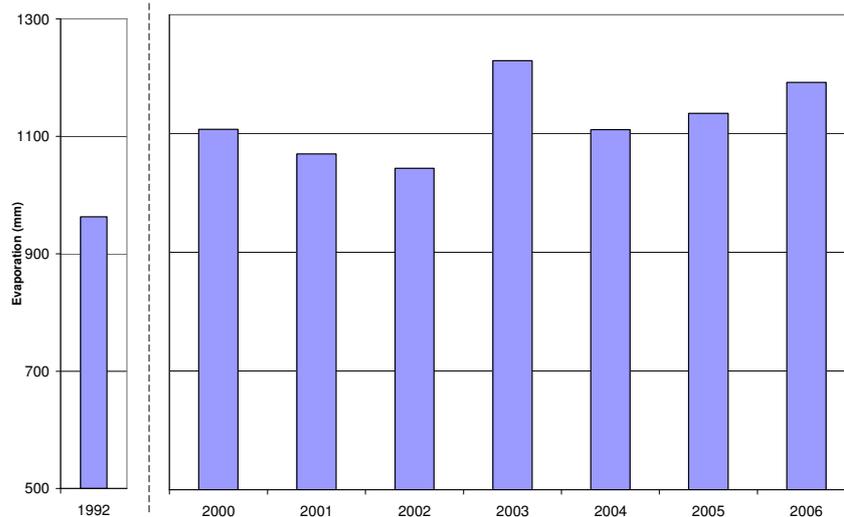


Illustration 16 – Evolution des valeurs d'évaporation entre 1992 et 2006 estimées à partir des données climatologiques de la station de Toulouse-Blagnac

L'année 2003 marquée par la sécheresse et des températures élevées présente logiquement la plus forte valeur annuelle d'évaporation, estimée à environ 1223 mm. A contrario, 1992, période excédentaire en pluie, se caractérise par une faible évaporation, équivalente à 963 mm.

A partir de ces données, il est ainsi possible d'évaluer l'évaporation simple (correspondant au terme E du bilan) des plans d'eau identifiés par traitement des images satellitaires de 1992, 2000 et 2005. En 2005, l'évaporation était équivalente à 1134 mm d'eau. Ainsi, environ 17,2 millions de m³ ont été évaporés à l'échelle des 1522 hectares de surface en eau libre recensés.

Toutefois, au niveau de ces gravières, l'aquifère alluvial est directement rechargé par les précipitations. La prise en compte des données pluviométriques, permet de calculer les volumes d'eau sortis du système par évaporation (correspondant au terme P-E du bilan) de l'ensemble des plans d'eau libre. Le tableau de l'illustration 17 indique l'impact de l'évaporation pour 1992, 2000 et 2005.

L'historique des données pluviométrique de la station de Toulouse-Blagnac, donne une moyenne des précipitations sur 56 ans d'environ 654 mm. Cette valeur comparée à celles acquises annuellement permet d'indiquer s'il s'agit d'un contexte déficitaire ou excédentaire.

L'impact de l'évaporation (P-E) est le plus fort en 2005, avec environ 10 millions de m³ d'eau sortis du système à l'échelle de l'ensemble des surfaces en eau libre (1522 ha). L'année 2005 a en effet été marquée par de très faibles précipitations et des températures élevées. Inversement, 2000 et 1992, années caractérisées par des précipitations abondantes (en particulier en 1992) ont été plus faiblement impactées (4,6 millions de m³ en 2000 et 0,8 en 1992).

	1992	2000	2005	Année Moyenne Humide prenant en compte les données de 2005
Total des surfaces en eau du département (ha)	773	1102	1522	1522
Evaporation (mm)	963,1	1106,8	1133,9	1040
Précipitation (mm)	856,0	691,2	479,4	788
P - E (mm)	- 107,1	- 415,6	- 654,5	- 252
Impact de l'évaporation en volume d'eau par ha (m ³)	1 071	4 156	6 545	2 520
Impact de l'évaporation en volume d'eau (millions de m ³)	0,8	4,6	10,0	3,8

Illustration 17 – Impact de l'évaporation au niveau des gravières de la zone d'étude en 1992, 2000 et 2005

Pour rappel, l'unité du millimètre est équivalente à 10 mètres cube d'eau par hectare.

Des valeurs moyennes de précipitations et d'évaporation ont été calculées pour une année moyenne humide (en prenant en compte les 5 années les plus humides entre 1992 et 2005). A superficies égales (2005), l'impact de l'évaporation est nettement moindre, avec une perte en eau évaluée à environ 3,8 millions de m³.

De fortes variations annuelles peuvent donc être observées en fonction des conditions climatiques.

5.3.2. Impact immédiat de l'extraction des matériaux alluvionnaires

La disparition de la matrice de l'aquifère au moment de l'exploitation de la gravière doit être pris en compte. Cet effet est temporaire, lié à la phase d'extraction et concerne donc les exploitations en activité.

En effet, au cours des travaux, les granulats constituant l'aquifère alluvial sont prélevés et sont remplacés par l'eau de la nappe. Cette action induit un phénomène d'appel semblable à celui créé par un pompage. Une fois l'activité arrêtée, l'équilibre est rétabli dans le milieu alluvionnaire.

En l'absence d'informations chiffrées sur les volumes de matériaux extraits en eau par année à l'échelle de la zone d'étude, une première approche utilisant des données moyennes a été établie.

Entre 2000 et 2005, la superficie des gravières de la zone d'étude a augmenté de 420 hectares, soit une extension moyenne de 84 hectares par an. En considérant une extraction en eau sur une épaisseur saturée moyenne de 4 à 5 mètres, le volume des matériaux à prélever peut être estimé en moyenne entre 3 et 4 millions de m³/an.

Localement, l'épaisseur de certains gisements peut être nettement supérieure (supérieure à 10 mètres), notamment dans le sud de la plaine de la Garonne ou dans celle de l'Ariège, augmentant d'autant les volumes d'eau prélevés.

Compte tenu de la nature des alluvions concernées (gravier et sables), la porosité totale de ces terrains est évaluée en moyenne à 15%. L'enlèvement d'un mètre cube de matériaux en place génère un appel de 850 litres d'eau gravitaire pour combler le vide créé.

Ainsi, le volume d'eau global moyen mobilisé au cours de l'exploitation sur l'ensemble des sites de la zone d'étude est estimé entre 2,5 et 3,4 millions de m³/an, soit l'équivalent d'un pompage global à un débit fictif continu compris entre 285 et 388 m³/h tout au long de l'année. Ces chiffres pourraient être affinés par des données plus précises sur les carrières en exploitation en fonction des années considérées.

5.3.3. Impact lié à la suppression de la recharge de la nappe sur les surfaces occupées par des gravières

Pour évaluer l'impact sur la ressource alluviale due à l'établissement de ces gravières, il est nécessaire d'estimer la recharge existante avant l'implantation de celles-ci. En effet, au niveau de ces surfaces, la nappe n'est quasiment plus réalimentée à partir du moment où le sol en place est remplacé par un plan d'eau (cf. termes du bilan P-E au chapitre 5.3.1).

Les pertes en eau des sols couverts par de la végétation sont déterminées à partir de l'évapotranspiration, paramètre regroupant l'évaporation directe de l'eau du sol et la transpiration par les plantes. Sachant que sur un sol présentant une couverture végétale même partielle, les échanges par transpiration sont quantitativement plus importants que ceux par évaporation directe.

Le calcul de l'infiltration est classiquement réalisé à partir d'un bilan hydrologique annuel de type Thornthwaite se présentant sous la forme suivante :

$$P - ETP - (R + I_p) = \Delta S \quad \text{avec } R + I_p = P_{\text{eff}}$$

où

- P = précipitations
- ETP = Evapotranspiration potentielle
- R = Ruissellement
- I_p = Infiltration en profondeur
- ΔS = Variation de stock d'eau dans le sol

L'estimation de l'ETP par cette méthode est basée sur le suivi périodique de la lame d'eau contenue dans le sol. Pour ce faire, le sol est assimilé à un réservoir d'une capacité maximale en eau appelée « réserve utile » (RU).

Les calculs ont considéré les hypothèses suivantes :

- si les précipitations sont supérieures à l'ETP : la différence comble le déficit en eau du sol. Une fois les sols saturés, l'excédent est traduit en ruissellement de surface ou en infiltration vers la nappe,
- si les précipitations sont inférieures à l'ETP : la différence ETP-précipitations est prélevée sur la réserve du sol jusqu'à épuisement de celle-ci.

L'eau des pluies efficaces (P_{eff}) est répartie, à la surface du sol, en deux fractions inégales, à savoir le ruissellement (R) collecté par le réseau hydrographique et l'infiltration (I_p) assurant la recharge du réservoir alluvial.

L'illustration 18 schématise les différents composants intervenant dans un bilan hydrique.

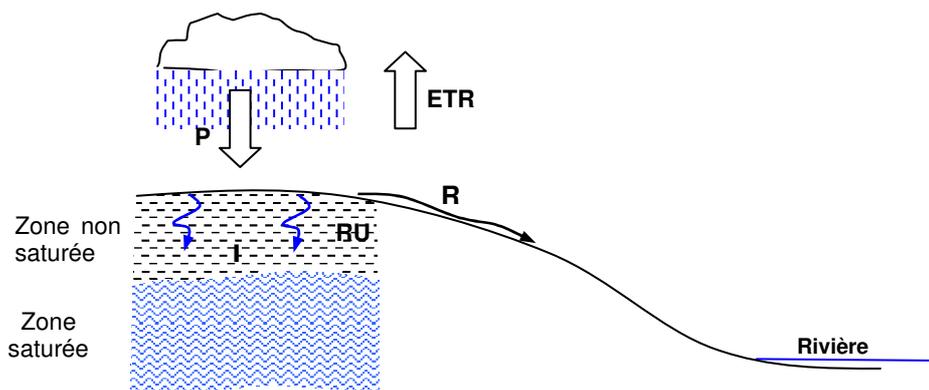


Illustration 18 – Composants intervenant dans un bilan hydrologique

Dans le cas présent, le ruissellement est considéré comme nul à l'échelle des surfaces intéressant les extractions de granulats dans la plaine alluviale.

Le terme d'évapotranspiration dépend de plusieurs facteurs, à savoir des conditions climatiques, du degré de couverture du sol par la végétation (notamment en été pendant la période de plus forte demande en eau), de la réserve hydrique du sol (réserve utile) et des caractéristiques intrinsèques du terrain.

a) Prise en compte de l'occupation du sol

Le travail de classification du couple d'images Landsat acquis en 2005 a permis d'établir une cartographie de l'occupation du sol (cf. chapitre 3.3.). Les terrains agricoles apparaissent nettement majoritaires dans le paysage de la zone d'étude avec environ 58% des surfaces occupées, dont 36% par des cultures d'hiver (céréales ou colza) et 22% par celles d'été (type maïs ou tournesol). Par ailleurs, environ 15% du

secteur d'investigation est recouvert de surfaces urbanisées et industrielles et 20% est constitué de sols nus. Les prairies et les bois sont quasiment absents.

Le dessèchement des premiers centimètres du sol constitue un écran (effet mulch) et entraîne une réduction de l'évaporation directe de l'eau contenue dans les horizons plus profonds. Par ailleurs, l'agriculture en limitant plus ou moins le taux de couverture du sol par la végétation contribue à limiter les valeurs d'évapotranspiration à l'échelle locale.

Deux situations de couverture de sol extrêmes peuvent être considérées. La permanence d'un sol nu sans aucune couverture végétale correspondrait à une minimisation des pertes par évapotranspiration et donc à une alimentation de la nappe facilitée. A contrario, un couvert permanent en prairie ou une zone boisée aura tendance à fortement puiser dans les réserves du sol et à limiter l'infiltration. Entre les deux, les différents types de cultures peuvent entraîner des variations dans l'estimation de l'évapotranspiration. Les surfaces occupées par des cultures d'hiver (céréales, colza....) permettent une alimentation de la nappe en moyenne plus élevée que celles recouvertes en permanence par de la végétation, le sol étant laissé nu en plus ou moins grande proportion et notamment au printemps et en été.

Il est ainsi possible de pondérer l'ETP (évapotranspiration potentielle fournie par MétéoFrance) par un coefficient cultural (K_c), tenant compte de la culture en place et de son stade de développement, pour obtenir l'évapotranspiration réelle (ETR).

Pour les besoins de l'étude et en fonction de l'occupation des sols existante en 2005, deux gammes de valeur extrêmes ont été prises en compte, à savoir un coefficient cultural caractérisant les sols nus estimé en moyenne à 0,5 et un autre correspondant au maximum d'indice foliaire de la culture (pris à 1,2). Les calculs ont été effectués en considérant ces valeurs durant toute l'année, ce qui revient à minimiser l'évapotranspiration dans le premier cas et à la majorer dans le second.

b) Détermination de la réserve utile des sols de la zone d'étude

La détermination de la réserve utile des sols concernés par le projet est également importante car cette dernière caractérise la capacité de stockage en eau des horizons superficiels. La texture des terrains joue un rôle déterminant pour ce paramètre. Ainsi, les sols sableux ont de faibles réserves utiles, équivalentes à 0,5 mm par cm de sol. A l'inverse, les sols limoneux représente un maximum avec des valeurs de RU de 2 mm par cm de sol.

Les secteurs sur lesquels sont situées les extractions de granulats concernent principalement les basses terrasses et la basse plaine de la Garonne et de l'Ariège. En fonction de l'âge de ces formations, de la nature des alluvions et de leurs localisations, des sols de textures et d'épaisseurs variables se sont développés.

Une étude présentant les grands ensembles morpho-pédologiques de la région Midi-Pyrénées a été réalisée en 1995 par la Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-

Pyrénées¹. Ce travail de synthèse a permis de définir des unités cartographiques possédant chacune une répartition de sols caractéristiques, fonction principalement de la lithologie (nature de la roche mère), de la géomorphologie, du climat et de la végétation. Pour le secteur concerné par l'étude, 9 unités sont principalement identifiées. L'illustration 19 représente la carte des grands ensembles morpho-pédologiques sur lesquels des plans d'eau ont été recensés.

LEGENDE :

-  Principales villes de la zone d'étude
-  Plans d'eau recensés en 2005
-  Plans d'eau recensés en 2000
-  UC1 : Vallée Riv. princ.
Basses plaines d'all. récentes non à peu caillouteuses
-  UC2 : Vallée Riv. princ.
Basses plaines d'all. récentes caillouteuses de Piémont
-  UC3 : Vallée Riv. princ.
Terres planes anciennes mal drainées à bouldiers limoneux
-  UC8 : Vallée secondaire
Basses plaines d'alluvions récentes argileuses et calcaires
-  UC9 : Vallée secondaire
Basses plaines d'alluvions récentes non calcaires
-  UC10 : Vallée secondaire
Terrasses d'alluvions anciennes (et glaciés de limon)

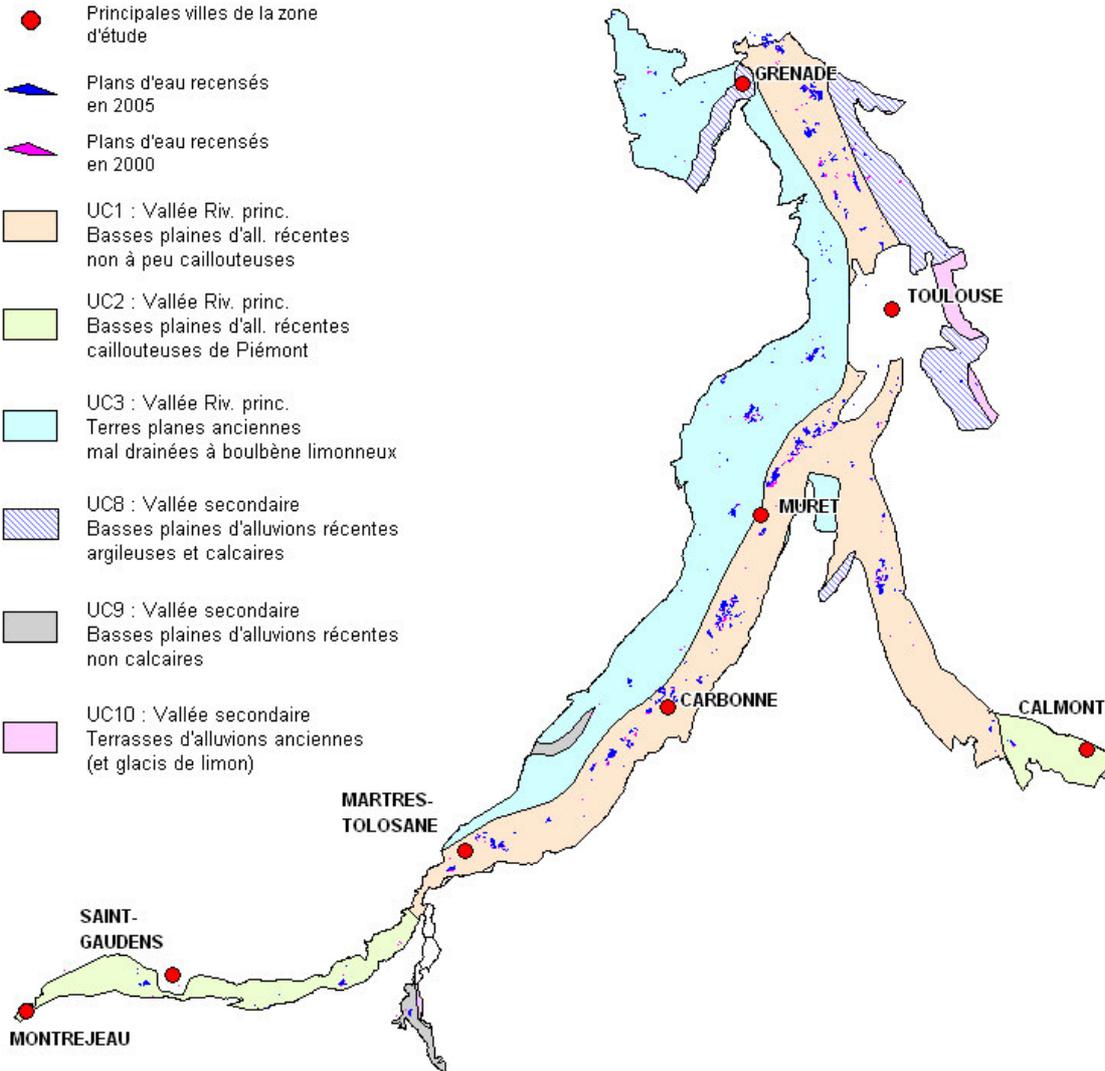


Illustration 19 - Grands ensembles morpho-pédologiques de la zone d'étude sur lesquels des plans d'eau ont été recensés en 2000 et 2005

¹ Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées (1995) – Les grands ensembles morpho-pédologiques de la région Midi-Pyrénées.

La majorité des gravières (environ 78 % des surfaces en 2000 et 2005) sont implantées sur des sols perméables, caillouteux et peu argileux avec une grande variabilité dans la nature des dépôts (cailloutis, sables, limons, argiles). Ces terrains appartiennent aux unités pédologiques UC 1 et UC2. Pour ces sols, des valeurs de RU comprises entre 30 et 40 mm peuvent être considérées.

Les autres excavations sont situées sur les ensembles pédologiques UC3 et UC10 dénommés « boulbènes » à savoir des sols limoneux hydromorphes souvent caillouteux issus de terrasses plus anciennes. Elles concernent environ 17 % des surfaces en 2000 et en 2005.

Les unités UC8 et UC9 sont respectivement localisées au niveau des dépôts d'alluvions récentes de la vallée de la Lèze et de l'Hers Vif. Elles correspondent à des sols peu évolués d'apports alluviaux hétérogènes dont la texture varie du sable limoneux au limon argilo-sableux. Toutefois, peu de gravières se situent dans ce type de terrains (environ 5 %).

Des valeurs de RU comprises entre 50 et 60 mm ont été prises en compte pour les calculs de bilan hydrique correspondant aux surfaces des unités UC3, 8, 9 et 10.

c) Calculs d'évapotranspiration réelle (ETR) et d'infiltration (I)

Le bilan a ainsi été effectué à un pas de temps décadaire entre janvier 1991 et décembre 2005 à partir des données de pluviométrie et d'évapotranspiration potentielle (ETP) pondérée par les coefficients cultureux et pour les différentes valeurs de RU caractérisant les surfaces concernées par les plans d'eau.

Les résultats des calculs d'ETR et d'infiltration obtenus ont été agrégés au pas de temps annuel. Les tableaux des illustrations 20 et 21 fournissent les valeurs pour les années 1992, 2000 et 2005.

	PP (mm)	ETP corrigé (mm)	RU (mm)		ETR (mm)		I (mm)	
Moyenne inter-annuelle 1991-2005	674	473	30-40	50-60	366-379	390-400	308-295	284-274
1992	856	403	30-40	50-60	363-373	383-393	493-483	473-463
2000	691	487	30-40	50-60	397-407	417-427	294-284	274-264
2005	479	497	30-40	50-60	342-352	362-372	138-128	118-108

Illustration 20 – Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la zone d'étude à partir de données d'ETP Penman corrigée (*Kc caractéristique d'un sol nu pris à 0,5*)

	PP (mm)	ETP corrig (mm)	RU (mm)		ETR (mm)		I (mm)	
Moyenne inter-annuelle 1991-2005	674	1135	30-40	50-60	521-536	550-563	154-138	124-112
Année Moy. Humide (1992 – 2005)	788	1087	30-40	50-60	581-601	619-633	204-182	161-143
1992	856	967	30-40	50-60	582-602	622-642	282-262	242-222
2000	691	1168	30-40	50-60	589-609	623-633	102-82	68-58
2005	479	1193	30-40	50-60	426-446	466-486	53-33	13-3

Illustration 21 – Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la zone d'étude à partir de données d'ETP Penman corrigée (Kc pris à 1,2 caractéristique d'un sol cultivé avec des plantes à leurs maximums foliaires)

Ainsi, en année humide (1992) comme en année sèche (2005), de fortes valeurs d'évapotranspiration sont observées pour les sols limoneux (dont les réserves utiles ont été estimées entre 50 et 60 mm) et cultivés ($K_c = 1,2$), elles seraient comprises pour 1992 entre 622 et 642 mm et entre 466 et 486 mm pour 2005. Les mêmes terrains dépourvus de végétation sont caractérisés par de faible valeur d'ETR comprise entre 383 et 393 mm en 1992 et entre 362 et 372 mm en 2005.

Inversement, les sols graveleux (RU évaluées entre 30 et 40 mm) et sans couvert végétal se caractérisent par une infiltration importante estimée entre 493 et 483 mm en 1992 et entre 138 et 128 mm en 2005.

Pour une année sèche à l'image de 2005, les volumes d'eau infiltrés au niveau des sols perméables et graveleux (représentant 78% de la surface totale occupée par les gravières) seraient compris entre 0,6 et 0,4 millions de m^3 . A l'échelle des 22% restants (sols limoneux, moins perméables), ces valeurs seraient estimées entre 44 000 et 10 000 m^3 . Soit pour l'ensemble des surfaces concernées par les sites d'extraction en 2005 (1522 ha), une infiltration évaluée entre 0,7 et 0,4 millions de m^3 d'eau.

Pour des superficies identiques à 2005, en considérant les données correspondantes à une année moyenne humide (prenant en compte les 5 années les plus humides entre 1992 et 2005), ces mêmes calculs indiquent une recharge de la nappe à hauteur de 3,0 à 2,6 millions de m^3 d'eau par an.

Du fait de la création des gravières sur ces terrains, ces valeurs sont à considérer comme un manque pour la réalimentation de la nappe alluviale et viennent s'ajouter à l'impact direct quantifié au niveau des plans d'eau des sites d'extractions.

5.3.4. Prélèvements destinés à l'irrigation

Des prélèvements dans la nappe peuvent être effectués pour l'irrigation des surfaces agricoles. En effet, les parcelles de maïs (majoritaires par rapport à celles de tournesols) représentent environ 22% de l'assolement des terres cultivées sur le secteur d'étude. Ainsi en 2005, environ 4800 hectares sont occupés par ce type de culture.

L'irrigation de cette espèce végétale, généralement dans la période comprise entre juin et septembre, nécessite en moyenne 1500 m³ d'eau par hectare, soit environ 7,2 millions de m³ d'eau prélevés pour cet usage en 2005 à l'échelle de la zone d'étude.

Dans l'hypothèse que sur les 1522 hectares de terrains occupés en 2005 par des gravières, 22% étaient initialement destinés à la culture du maïs, environ 0,5 millions de m³ d'eau auraient alors été nécessaires à l'irrigation de ces surfaces.

Toutefois, seule une partie de ce volume aurait été prélevé à la nappe. En effet, en Haute-Garonne comme en Ariège, les prélèvements en eau à usage agricole sont effectués à la fois dans les eaux souterraines et dans les cours d'eau de la plaine, avec une forte proportion pour les ressources superficielles. Ces données ne seront donc pas incluses dans le bilan global.

5.3.5. Mise en évidence générale de l'impact des gravières sur la ressource en eaux souterraines de la zone d'étude

L'ensemble des phénomènes impactant la nappe alluviale et décrit dans les chapitres précédents peut être récapitulé par l'équation suivante :

$$(P-E) + \text{Prelev.Exp.} + \text{Ab.Re} = \text{Imp.Glob.}$$

Avec :

P-E : impact de l'évaporation quantifié au niveau des gravières en millions de m³,

Prelev. Exp. : prélèvements s'opérant au cours de l'exploitation en millions de m³/an,

Ab. Re : Absence de recharge de la nappe liée à la substitution des sols par des plans d'eau en millions de m³,

IG : Impact global de la création de plans d'eau sur la nappe alluviale en millions de m³

Le tableau de l'illustration 22 caractérise l'ensemble des phénomènes impactant la nappe alluviale de la Garonne et de l'Ariège et témoigne de leur évolution entre 1992 et 2005.

	1992	2000	2005	Année Moy. Humide
Total des surfaces en eau du département (ha)	773	1102	1522	1522
Impact de l'évaporation (P-E) (millions de m ³) au niveau de la gravière	0,8	4,6	10,0	3,8
Appel d'eau créée par l'extraction (millions de m ³)	2,5 à 3,4	2,5 à 3,4	2,5 à 3,4	2,5 à 3,4
Absence de réalimentation de la nappe par infiltration (millions de m ³)	2,0 à 2,1	0,8 à 1,0	0,4 à 0,7	3,0 à 2,6
Impact global des gravières sur la nappe (millions de m³)	5,3 à 6,3	7,9 à 9,0	12,9 à 14,1	9,3 à 9,8

Illustration 22 – Bilan de l'impact des gravières sur la nappe alluviale de la Garonne et l'Ariège

Le cumul de ces différents phénomènes intervenant sur la nappe met en évidence l'importance du déficit généré par l'évaporation au niveau des plans d'eau présent sur la plaine. Ainsi en année sèche, comme cela a été le cas en 2005, cet impact peut être très important, il représente un manque pour la nappe estimé entre 13 et 14 millions de mètre cube. A titre illustratif, cela correspondrait à un pompage global à un débit fictif continu compris entre 412 et 444 m³/s en continu tout au long de l'année.

En considérant une année moyenne humide (calculée à partir des 5 années les plus humides entre 1992 et 2005) et pour des surfaces en eau identiques à 2005, cet impact s'amointrit tout en restant conséquent, avec un déficit pour la nappe évalué à entre 9 et 10 millions de mètre cube.

En année sèche, les effets liés à l'absence de réalimentation et à l'extraction des granulats apparaissent moindres en comparaison des volumes d'eau perdus par évaporation au niveau des gravières, représentant alors 70% de l'impact global. Les volumes en jeux des différents phénomènes s'uniformisent en année humide.

Afin de disposer d'une échelle de valeur pour apprécier ces différents chiffres, il apparaît intéressant de les comparer à la réserve totale en eaux souterraines de la zone d'étude.

Deux modèles de simulations des écoulements souterrains sont actuellement en cours de calage. Ils concernent les aquifères alluviaux de la Garonne et de l'Ariège circonscrits aux départements de Haute-Garonne (31) et de l'Ariège (09). Ces outils vont notamment permettre de déterminer les réserves en eau disponible pour l'ensemble de ces deux systèmes.

Toutefois, en l'état actuel des connaissances, cette information a été approchée en prenant en compte des données moyennes issues de différentes études effectuées. Il s'agit d'un calcul destiné à fournir des ordres de grandeur. Ces valeurs seront précisées a posteriori par les résultats des bilans issus des modèles mathématiques.

Le volume total d'eau peut être estimé par le calcul suivant :

$$\text{Réserve totale} = \text{Volume saturé} \times \text{porosité moyenne}$$

avec le volume saturé = épaisseur saturée moyenne x superficie du système

Six secteurs correspondant pour partie aux découpages des systèmes aquifères du référentiel hydrogéologique français dans sa première version (BDRHF® V1) sont distingués dans la zone d'étude. Les caractéristiques de chacun d'entre eux sont regroupées dans le tableau de l'illustration 23.

Syst. Aquif.	Superf. (km ²)	Ep. Sat. Moy. (m)	Vol. Sat. Moy. (millions de m ³)	Porosité Moy. (%)	Réserve totale (millions de m ³)
131a	203	5	1015	5	51
131b	314	3	942	3	28
132	181	6	1086	5	54
339	198	3	594	3	18
342a	51	4	204	3	6
352a	114	7	798	6	48

Illustration 23 – Estimation des réserves en eau par système aquifère

La réserve globale d'eau de la zone d'étude est ainsi estimée à environ 205 millions de m³. Le déficit en eau, issu des gravières, évalué entre 13 et 14 millions de m³ en année sèche et entre 9 et 10 millions de m³ en année humide représente entre 5 et 7% du volume général de la nappe selon le contexte climatique.

L'ensemble de ces surfaces en eau représentent seulement 1,3 % (estimation de 2005) de la superficie générale de la zone d'étude. Il ressort que ces plans d'eau ont un impact non négligeable sur la nappe alluviale en comparaison du faible espace occupé.

6. Conclusion

Toutefois, devant l'augmentation des exploitations de matériaux alluvionnaires dans la région, la DRIRE de Midi-Pyrénées a demandé au BRGM de proposer une opération apportant des éléments objectifs pour l'évaluation de l'impact quantitatif des gravières ouvertes sur la ressource en eaux souterraines dans le département de Haute-Garonne (31).

La première phase du projet a permis de quantifier, à partir d'images satellitaires, les surfaces en eau issues de l'extraction de granulats dans le milieu alluvionnaire de Haute-Garonne.

Le secteur d'étude est limité aux domaines alluviaux de la Garonne et de l'Ariège circonscrits au département de Haute-Garonne (31).

La cartographie des surfaces en eau libre (gravières, plans d'eau non exploités, bases de loisirs), présentes dans le paysage lors de l'acquisition des images, est issue d'une classification supervisée d'images acquises par le satellite LANDSAT TM en juillet 1992, en juin 2000 et en juillet 2005.

Ce travail de classification a permis d'une part d'identifier les plans d'eau de la zone d'étude et d'autre part d'évaluer la superficie totale de chacun d'eux. Du fait de la résolution spatiale des imageries utilisées, seules les surfaces en eau supérieures à un demi-hectare ont été retenues.

Les plans d'eau sont majoritairement implantés sur les alluvions des basses plaines de la Garonne et de l'Ariège. Les alluvions des basses terrasses sont également concernées. Les sites d'exploitation sont toutefois moins nombreux et de moins grandes ampleurs.

Un développement croissant des surfaces en eau libre dans la plaine alluviale de la Garonne est observé. Cette augmentation est principalement provoquée par l'accroissement, en nombre et en superficie, des exploitations de granulats. Par ailleurs, les anciennes gravières restent le plus souvent en l'état et sont rarement comblées. Certaines sont réhabilitées en base de loisirs.

Deux stades ont été considérés pour évaluer l'impact de ces gravières sur la nappe alluviale de la Garonne et de l'Ariège :

- avant la création des excavations dans les terrains de la plaine, la recharge de la nappe est assurée par les précipitations efficaces s'infiltrant dans le sol. De ce fait, ces valeurs sont à considérer comme un manque pour la réalimentation de la nappe alluviale et viennent s'ajouter à l'impact direct lié à l'évaporation observée au niveau des plans d'eau des sites d'extractions,

- actuellement, les formations alluvionnaires sont remplacées par l'eau de la nappe et les variations des niveaux d'eau sont assujetties aux précipitations et à l'évaporation. Des bilans annuels ont ainsi été établis au niveau des gravières afin de quantifier les volumes d'eau sortant du système alluvial (évaporation annuelle supérieure aux apports par les précipitations).

Le cumul de ces différents phénomènes met en évidence l'importance du déficit généré par la création de ces plans d'eau présents sur la plaine. Ainsi en année sèche, comme cela a été le cas en 2005, cet impact peut être très important, il représente un manque pour la nappe estimé entre 13 et 14 millions de mètre cube.

En considérant une année moyenne humide et pour des surfaces en eau identiques à 2005, cet impact s'amointrit tout en restant conséquent, avec un déficit pour la nappe évalué entre 9 et 10 millions de mètre cube.

A titre d'échelle de valeur, ces volumes représentent, en fonction du contexte climatique annuel, entre 7 et 5% de la réserve globale de la nappe alluviale de la Garonne et de l'Ariège, estimée à environ 205 millions de m³.

Dans un contexte d'absence de réhabilitation de ces sites et de demande croissante en matériaux alluvionnaire, entraînant une augmentation des surfaces en eau sur la plaine alluviale de la Garonne et de l'Ariège, il serait intéressant de connaître l'impact de ces exploitations sur la piézométrie générale de la nappe à l'échelle du système alluvial dans son ensemble (fluctuations des niveaux, modifications des écoulements ou des échanges avec les cours d'eau....).

Les modèles mathématiques en cours de développement pourraient intégrer les données obtenues dans ce projet, complétées par celles issues des différentes études effectuées durant l'existence de ces exploitations (données piézométriques, paramètres hydrodynamiques, etc.) et permettre ainsi d'une part, d'affiner ces premiers résultats et d'autre part, de tester différents scénarii d'évolution dans l'aménagement de la plaine alluviale (notamment lié à l'augmentation des étendues d'eau).

7. Bibliographie

Bourguignon A., Desprats J.F., Saplairoles M. (2006) – Evaluation de l'impact sur la ressource en eau souterraine de l'exploitation de granulats dans le milieu alluvionnaire de la Garonne (31). Rapport d'avancement BRGM/RP-55076-FR

Cavaillé A. (1964) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Grenade-sur-Garonne** (956). Orléans : BRGM. Notice explicative par A. Cavaillé (1964), 1 p. Edition BRGM.

Cavaillé A. (1965) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Toulouse Ouest** (983). Orléans : BRGM. Notice explicative par A. Cavaillé (1965), 8 p. Edition BRGM.

Cavaillé A. (1965) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Toulouse Est** (984). Orléans : BRGM. Notice explicative par A. Cavaillé (1965), 8 p. Edition BRGM.

Cavaillé A. (1965) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Muret** (1009). Orléans : BRGM. Notice explicative par A. Cavaillé (1965), 6 p. Edition BRGM.

Cavaillé A. (1970) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Saverdun** (1035). Orléans : BRGM. Notice explicative par A. Cavaillé (1970), 12 p. Edition BRGM.

Cavaillé A. (1970) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Cazères** (1034). Orléans : BRGM. Notice explicative par A. Cavaillé (1970), 16 p. Edition BRGM.

Collin J.M., Galharague J., Robert J. (1974) – Sables et Gravieres de la basse terrasse en amont de Toulouse (Haute-Garonne). Rapport BRGM/CETE 74SGN076MPY / 31T662GP14940.

Ghyselinck-Bardeau M. (2006) - 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 d'avancement BRGM/RP-55185-FR

Paris J.P. (1971) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Montréjeau** (1055). Orléans : BRGM. Notice explicative par J.P. Paris (1975), 23 p. Edition BRGM.

Paris J.P. (1975) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Saint-Gaudens** (1054). Orléans : BRGM. Notice explicative par J.P. Paris (1975), 25 p. Edition BRGM.

Payet O. (1971) – Hydrogéologie des terrasses alluviales de la Garonne entre Montréjeau et Martres-Tolosane (Haute-Garonne). Rapport BRGM. 71SGN382MPY.

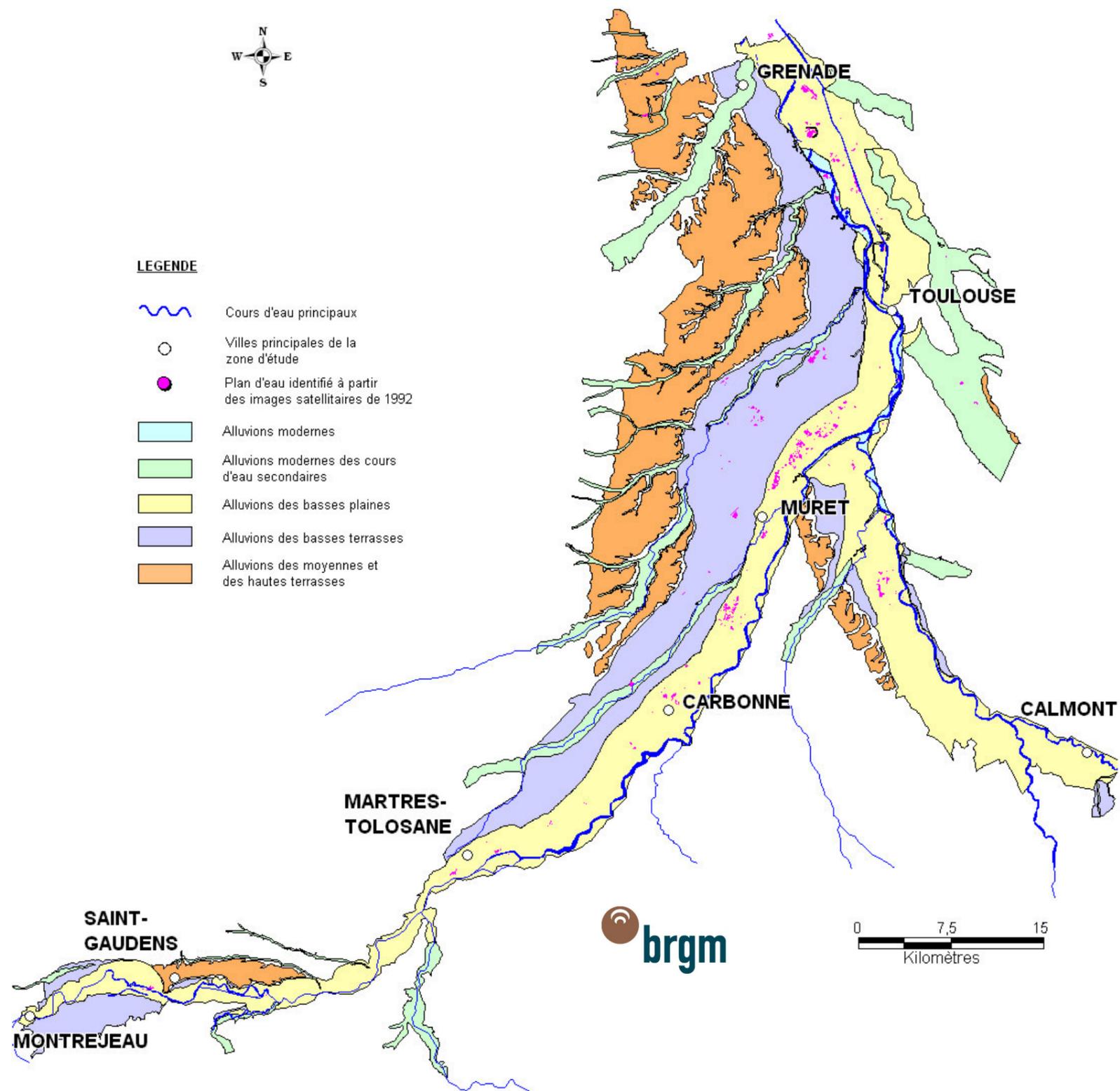
Saplairoles M., Ghyselinck-Bardeau M., Alaux V. (2005) – Gestion des systèmes alluviaux dans le bassin Adour-Garonne. Modélisation de la nappe alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif – Année 1. Rapport d'avancement. BRGM/RP-54139-FR.

Saplaïroles M., Ollagnier S. (2006) – Gestion des systèmes alluviaux dans le bassin Adour-Garonne. Modélisation de la nappe alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif – Année 2. Rapport final. BRGM/RP-54969-FR.

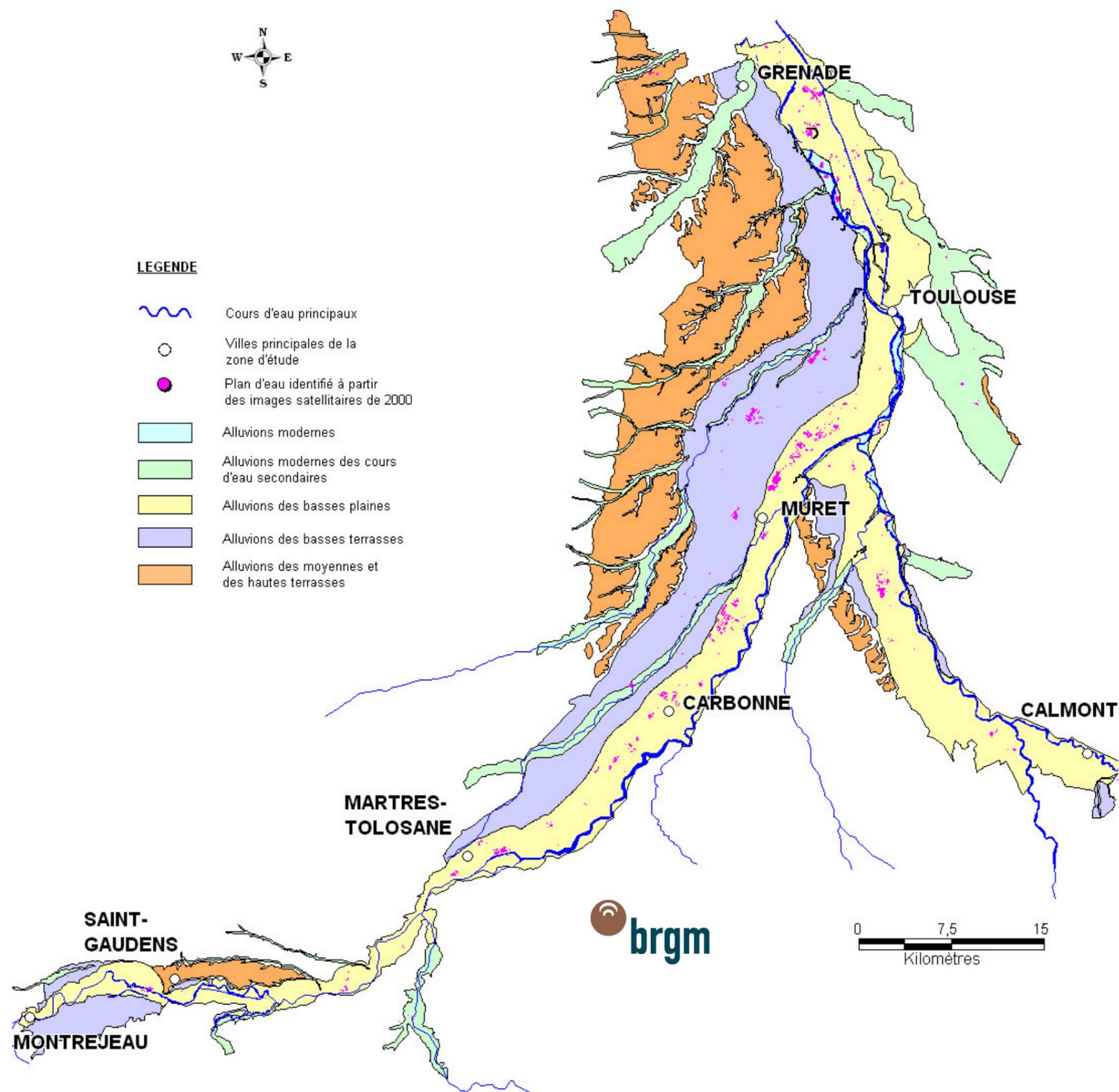
Vandenbeusch M. (1975) – Nappe alluviale de la basse plaine de la Garonne dans la région toulousaine. Influence Gravières-Captages. Recommandations pour leurs implantations. Rapport BRGM. 75SGN132MPY.

Annexe 1

Cartographies des plans d'eau recensés sur le domaine alluvial de Haute-Garonne – Traitements des images satellitaires des années 1992 et 2000



Localisation des plans d'eau cartographiés sur le domaine alluvial de Haute-Garonne – Traitement des images satellitaires de 1992



Localisation des plans d'eau cartographiés sur le domaine alluvial de Haute-Garonne – Traitement des images satellitaires de 2000

Annexe 2

Photographies de gravières visitées



Copyright © BRGM 2007

Vue d'un site d'extraction de granulats en activité – Commune de Saint-Elix-le-Château



Copyright © BRGM2007

Vue d'un plan d'eau avec arrêt de l'extraction de granulats – Commune de Seysse



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
31527 – Ramonville-Saint-Agne - France
Tél. : 05 62 24 14 50