





# Evaluation de l'impact sur la ressource en eau souterraine de l'exploitation de granulats dans le milieu alluvionnaire de l'Ariège

Rapport final

**BRGM/RP-61982-FR**

Avril 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2012 12RSM1601

**H. Bessière, T. Klinka, M. Saplairoles**

Avec la collaboration de  
D. Thierry

**Vérificateur :**

Original signé par : J.J. SEGUIN

Le 25 juillet 2013

**Approbateur :**

Original signé par : Ph. ROUBICHOU

Le 21 août 2013

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

**Mots clés** : Exploitation de granulats, milieu alluvionnaire, gravières, pertes par évaporation, évapotranspiration des sols, modélisation, nappe alluviale, Ariège

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

H. Bessière, T. Klinka, M. Saplaïroles. 2013 - Evaluation de l'impact sur la ressource en eau souterraine de l'exploitation de granulats dans le milieu alluvionnaire de l'Ariège (09). BRGM/RP-61982-FR. Rapport final. 75 p., 63 ill.

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

## Synthèse

Les alluvions de la plaine de l'Ariège et de l'Hers Vif constituent des gisements préférentiels de sables et de graviers largement exploités, fournissant la matière première des chantiers du bâtiment et des travaux publics du département de l'Ariège et de la région Midi-Pyrénées.

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 surface topographique génère le développement de plans d'eau dont la surface correspond à celle de la nappe.

Dans le cadre de la révision de l'actuel schéma des carrières du département de l'Ariège, la DREAL de Midi-Pyrénées a demandé au BRGM d'apporter des éléments objectifs dans l'évaluation de l'impact des gravières sur la nappe alluviale. En effet, face à l'augmentation des carrières en granulats dans la plaine de l'Ariège et en particulier dans le secteur de Saverdun, il est apparu important aux groupes de travail en charge de la révision du schéma d'engager cette évaluation.

Cette action est financée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et par le BRGM dans le cadre de ses actions de Service Public.

Le premier objectif du projet a été d'évaluer l'impact quantitatif de ces nombreux plans d'eau sur la nappe alluviale, conséquence immédiate de l'ouverture des gravières.

La cartographie des surfaces en eau du secteur d'étude est issue des données vectorielles 2010 de la BD TOPO<sup>®</sup> de l'IGN. A partir de ces données, il a été possible d'évaluer la surface totale des plans d'eau liée à l'extraction de granulats ou assimilés dans la plaine alluviale de l'Ariège. La surface totale estimée est ainsi de 343,6 ha dont 179,0 ha uniquement sur l'emprise de la plaine située dans le département de l'Ariège.

Le cumul de plusieurs phénomènes (évaporation directe, mobilisation de la nappe lors de l'extraction des granulats et suppression de la recharge) 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 2006, cet impact représente un manque pour la nappe estimé autour de 3 millions de mètres cubes ( $Mm^3$ ) d'eau.

En considérant une année moyenne et pour des surfaces en eau identiques à 2010, cet impact s'amointrit, avec un déficit pour la nappe évalué entre 2,10 et 2,80  $Mm^3$  selon le contexte d'occupation du sol privilégié (sols cultivés ou sols nus).

Ces chiffres sont à mettre en parallèle avec la ressource renouvelable annuelle moyenne estimée à environ 53 millions de  $m^3$  ou à la proportion relative que cela représente par rapport à la réserve aquifère totale estimée à 205  $Mm^3$  d'après les résultats du modèle hydrodynamique utilisé (période de calage comprise entre 2000 et 2007). Ainsi, le déficit représenterait entre 6% et 3% de la ressource renouvelable et entre 1,5% et 0,7% par an du volume général de la nappe selon le contexte climatique et les conditions culturales privilégiées.

En tenant compte des extensions maximales futures des plans d'eau de l'ensemble des carrières autorisées à ce jour en Ariège (superficie estimée à environ 446 ha), ce déficit en eau pour la nappe pourrait atteindre entre 4,1 et 2,8 Mm<sup>3</sup> dans un contexte d'année moyenne, soit une augmentation des déficits compris entre 32% et 23,5% par rapport à l'extension actuelle des surfaces en eau.

Dans un second temps, outre le déficit sur la ressource généré par la création de ces plans d'eau, il est apparu important de connaître leur impact sur le fonctionnement général 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...). Pour ce faire, les gravières actuelles et futures ont été intégrées au modèle mathématique de la nappe alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif déjà existant (superficie du domaine modélisé de 410 km<sup>2</sup> à mailles carrées de 250 m de côté). A cette occasion, ce dernier a fait l'objet d'une actualisation de certaines de ses données.

Des écarts de résultats, en moyenne de l'ordre de 0,6 Mm<sup>3</sup>, sont observés selon les approches mises en œuvre (calculs analytiques ou utilisation du modèle hydrodynamique) en fonction des hypothèses formulées et des échelles de temps considérées pour l'établissement des bilans. Ainsi, les valeurs de l'impact global des gravières obtenues à partir de l'étude analytique sont supérieures à celles appréciées à partir du modèle hydrodynamique principalement en raison de la prise en compte dans le calcul analytique de l'appel d'eau généré lors de l'extraction des matériaux (estimé en moyenne à 0,45 Mm<sup>3</sup>).

En considérant les impacts sur l'hydrodynamisme de la nappe dans le secteur de Saverdun, il apparaît que cet impact des gravières est à différencier selon la zone considérée :

- dans le périmètre immédiat des gravières, un abaissement des niveaux de quelques dizaines de centimètres est observé en considérant l'extension actuelle des plans d'eau et de l'ordre de 2 mètres avec les extensions futures,
- dans le pourtour proche de cette zone (environ 1 à 1,5 km), l'abaissement devient quasi négligeable avec les extensions actuelles et de quelques dizaines de cm avec les extensions futures,
- en s'écartant de quelques kilomètres (environ 2 à 3 km) de cette zone, l'impact devient négligeable aussi bien avec les gravières actuelles que futures.

Il est important de noter que l'échelle de travail utilisé pour cette étude, à savoir celle du système alluvial dans son ensemble, permet difficilement d'appréhender les phénomènes localisés, en particulier au droit des gravières. Par ailleurs, le manque de données de contrôle sur le territoire concerné par l'extension des gravières est préjudiciable à la précision des impacts observés dans le modèle.

Au terme de ce projet, il apparaît donc nécessaire de créer un réseau de suivi quantitatif qui permettrait de disposer de données de référence pour évaluer l'impact des gravières actuelles et à venir avec établissement de cartes piézométriques à l'échelle de la zone d'extension future des carrières et l'acquisition de chroniques de niveau d'eau sur des points de suivi sélectionnés en fonction des différents contextes (amont, aval, à proximité immédiate ou éloignée, etc.).

## Sommaire

<b>Synthèse .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>11</b>
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS .....	11
1.2. LOCALISATION .....	12
<b>2. Contexte géologique et hydrogéologique .....</b>	<b>15</b>
<b>3. Impact hydrodynamique des gravières sur le milieu alluvionnaire .....</b>	<b>19</b>
3.1. IMPACT SUR LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS .....	19
3.2. MODIFICATION DES ECHANGES AVEC LE COURS D'EAU .....	21
3.3. CONSEQUENCE DES IMPACTS HYDRODYNAMIQUES .....	21
<b>4. Estimation de l'impact quantitatif des gravières sur la nappe alluviale .....</b>	<b>23</b>
4.1. REPARTITION DES PLANS D'EAU .....	23
4.2. IMPACT DES GRAVIERES DE LA ZONE D'ETUDE SUR LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ARIEGE .....	25
4.2.1. Volumes d'eau évaporés au niveau des plans d'eau du secteur d'étude .....	25
4.2.2. Impact immédiat de l'extraction des matériaux alluvionnaires .....	34
4.2.3. Impact lié à la suppression de la recharge de la nappe sur les surfaces occupées par des gravières .....	35
4.2.4. Prélèvements destinés à l'irrigation .....	45
4.2.5. Mise en évidence générale de l'impact des gravières sur la ressource en eaux souterraines de la zone d'étude .....	45
4.3. ESTIMATION DE L'IMPACT DE L'EXTENSION FUTURE DES GRAVIERES EXISTANTES SUR LA RESSOURCE ALLUVIALE .....	47
4.3.1. Cartographie des futurs plans d'eau .....	47
4.3.2. Evaluation de l'impact des futurs plans d'eau sur la ressource en eaux souterraines .....	47
<b>5. Intégration des gravières dans le modèle hydrodynamique .....</b>	<b>51</b>
5.1. INTRODUCTION .....	51
5.2. RAPPEL DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU MODELE .....	51

5.3. HYPOTHESE D'INTEGRATION DES GRAVIERES DANS LE MODELE .....	53
5.3.1. Localisation géographique et sélection des gravières modélisées.....	53
5.3.2. Création de gigognes dans le modèle hydrodynamique .....	54
5.3.3. Représentation numérique des gravières.....	54
5.4. ACTUALISATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE : CALAGE SUR LA PERIODE 2000 – 2010.....	55
5.4.1. Actualisation des données.....	55
5.4.2. Modification des débits amonts .....	57
5.4.3. Calage du modèle en régime transitoire.....	58
5.4.4. Intégration des surfaces en eau dans le modèle : exploitation du modèle	62
<b>6. Conclusions .....</b>	<b>73</b>
6.1. CONCLUSION SUR L'ESTIMATION QUANTITATIVE DE L'IMPACT DES GRAVIERES DANS LA NAPPE ALLUVIALE .....	73
6.2. CONCLUSIONS SUR LA MODIFICATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE PAR L'INTRODUCTION DES GRAVIERES ACTUELLES OU SELON LE PLAN D'EXTENSION FUTURE .....	74

## Liste des illustrations

Illustration 1 – Localisation de la zone d'étude .....	13
Illustration 2 - Schéma théorique de la mise en place des terrasses alluviales du complexe Ariège-Hers d'après une synthèse bibliographique.....	16
Illustration 3 - Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges non colmatées .....	20
Illustration 4 - Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges colmatées .....	20
Illustration 5 - Influence de l'orientation de la gravière .....	21
Illustration 6 - Effet de l'implantation d'une gravière en communication avec un cours d'eau sur la piézométrie de la nappe alluviale .....	22
Illustration 7 - Origine des données cartographiques utilisées .....	23
Illustration 8 - Distribution des plans d'eau recensés .....	24
Illustration 9 - Distribution des surfaces en eau supérieures à 0,5 ha.....	24
Illustration 10 - Données météorologiques collectées auprès de Météo France.....	27
Illustration 11 – Evolution annuelle des précipitations pour les stations de Cugnaux et de Montaut sur la période 1995 – 2011 .....	27
Illustration 12 – Localisation des stations météorologiques d'intérêt.....	28

Illustration 13 - Evolution annuelle de l'évaporation (EVEAU) pour les stations de Cugnaux et de Montaut sur la période 1995 - 2011 .....	29
Illustration 14 – Comparaison des données de précipitations et d'évaporation annuelle sur la période 1995 – 2011 à la station de Cugnaux .....	30
Illustration 15 - Comparaison des données de précipitations et d'évaporation annuelle sur la période 1995 – 2011 à la station de Montaut.....	30
Illustration 16 - Impact de l'évaporation au niveau des gravières du nord de la plaine selon le contexte climatique de 2002, 2009 et 2011.....	31
Illustration 17 – Variation annuelle de pertes par évaporation au droit des gravières de la partie nord de la plaine alluviale (données climatologiques de la station de Cugnaux) .....	32
Illustration 18 - Impact de l'évaporation au niveau des gravières du sud de la plaine selon le contexte climatique de 1996, 2006, 2007 et 2011.....	32
Illustration 19 - Variation annuelle de perte par évaporation au droit des gravières de la partie sud de la plaine alluviale (données climatologiques de la station de Montaut).....	33
Illustration 20 - Impact de l'évaporation au niveau de l'ensemble des gravières de la plaine alluviale de l'Ariège selon le contexte climatique .....	33
Illustration 21 – Evolution annuelle de la production réelle de matériaux alluvionnaires extraits dans la plaine alluviale de l'Ariège .....	34
Illustration 22 – Evolution des volumes d'eau mobilisés par l'extraction des matériaux sur l'ensemble des exploitations en activité recensées en Ariège.....	35
Illustration 23 - Composants intervenant dans un bilan hydrologique .....	36
Illustration 24 - Répartition de l'occupation des sols sur la zone d'étude en 2008 .....	37
Illustration 25 - Répartition des unités morpho-pédologiques de la plaine alluviale .....	39
Illustration 26 - Surface (en ha) des UC occupée par les gravières .....	40
Illustration 27 - Distribution des gravières sur les types de sols .....	41
Illustration 28 - Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la partie sud de la plaine (station de Montaut) à partir de données d'ETP Penman corrigée (Kc caractéristique d'un sol nu pris à 0.5) .....	41
Illustration 29 - Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la partie sud de la plaine 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 30 - Bilan hydrique calculé à partir des données de la station de Montaut entre 1995 et 2011 en considérant une RU=30 mm et Kc=0,5 .....	42
Illustration 31 - Bilan hydrique calculé à partir des données de la station de Montaut entre 1995 et 2011 en considérant une RU=30 mm et Kc=1.2 .....	43
Illustration 32 - Bilan hydrique calculé à partir des données de la station de Montaut entre 1995 et 2011 en considérant une RU=60 mm et Kc=1.2 .....	43
Illustration 33 – Impact du déficit d'alimentation de la nappe par infiltration pour différents contextes climatiques.....	44
Illustration 34 - Estimation de l'impact des gravières sur la nappe alluviale de l'Ariège .....	46
Illustration 35 - Estimation des réserves en eau du système aquifère .....	47

Illustration 36 – Répartition au sein de la plaine des extensions finales des plans d'eau issus des gravières actuellement autorisées en Ariège.....	48
Illustration 37 - Impact de l'évaporation au niveau des extensions futures des plans d'eau de la plaine alluviale de l'Ariège selon le contexte climatique .....	49
Illustration 38 – Impact du déficit d'alimentation de la nappe par infiltration au niveau des extensions futures des plans d'eau de la plaine alluviale de l'Ariège selon le contexte climatique .....	49
Illustration 39 - Estimation de l'impact des extensions futures des plans d'eau sur la nappe alluviale de l'Ariège .....	50
Illustration 40 - Principe d'élaboration d'un modèle .....	52
Illustration 41 - Gravières intégrées au modèle hydrodynamique .....	53
Illustration 42 - Modification du maillage principale par l'introduction de gigognes dans les zones de gravières .....	54
Illustration 43 - Localisation des prélèvements par type d'usage .....	56
Illustration 44 - Volumes annuels prélevés par type d'usage .....	57
Illustration 45 - Localisation des débits amont au sein du réseau hydrographique modélisé.....	58
Illustration 46 - Principe de fonctionnement du modèle Gardenia .....	59
Illustration 47 - Données utilisées pour le calage pluie-niveau GARDENIA.....	59
Illustration 48 - Calage des modèles Gardenia pour le calcul de la pluie efficace .....	60
Illustration 49 - Zones de sol du modèle .....	61
Illustration 50 - Projet d'extension des surfaces en eau .....	62
Illustration 51 - Mailles d'observation des débits en amont et en aval de la zone d'extension des gravières .....	63
Illustration 52 - Impact de l'implantation des gravières sur la Galage .....	64
Illustration 53 - Impact de l'implantation des gravières sur le Crieu .....	65
Illustration 54 - Impact de l'implantation des gravières sur l'Ariège.....	66
Illustration 55 - Mailles d'observation des niveaux piézométriques autour de la zone d'extension des gravières .....	67
Illustration 56 - Isopièzes simulées à août 2005 sans les gravières (à gauche) et avec l'extension 2010 des gravières .....	68
Illustration 57 - Isopièzes simulées à août 2005 avec l'extension 2010 des gravières et avec l'extension future des gravières.....	68
Illustration 58 - Comparaison des lames d'eau infiltrées (en m <sup>3</sup> ) sur l'ensemble du modèle sans les gravières, avec l'extension 2010 des gravières et avec l'extension future des gravières .....	69
Illustration 59 - Comparaison des lames d'eau infiltrées (en m <sup>3</sup> ) sur la zone d'intérêt sans les gravières, avec l'extension 2010 des gravières et avec l'extension future des gravières.....	70

Illustration 60 – Calcul de l'évaporation en m <sup>3</sup> sur l'ensemble du modèle selon sa configuration actuelle ou selon les projets d'extension des gravières.....	70
Illustration 61 – Calcul du déficit d'infiltration et de l'impact global des gravières sur la nappe d'après le modèle hydrodynamique pour les configurations actuelles et futures. ....	71
Illustration 62 - Echanges nappe rivière (en m <sup>3</sup> ) sur l'ensemble du modèle sans gravière, avec les gravières actuelles et avec l'extension future.....	72
Illustration 63 - Echanges nappe rivière (en m <sup>3</sup> ) au niveau de la zone d'intérêt de Saverdun sans gravière, avec les gravières actuelles et avec l'extension future.....	72



# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS

Les alluvions de la plaine de l'Ariège et de l'Hers Vif constituent des gisements préférentiels de sables et de graviers largement exploités, fournissant la matière première des chantiers du bâtiment et des travaux publics du département de l'Ariège et de la région Midi-Pyrénées.

L'extraction de 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 surface 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 se traduit 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.

L'actuel Schéma Départemental des Carrières (SDC) de l'Ariège, approuvé en mai 2003, doit être révisé au plus tard avant mai 2013. Les modalités pratiques de conduite de la révision doivent tenir compte des nouvelles dispositions du Code de l'environnement et notamment l'obligation de joindre au projet de schéma un rapport d'évaluation environnementale (art. L.122-4 et suivants et art. R.122-17).

Un comité de pilotage, présidé par la Préfecture de l'Ariège, a été constitué afin d'organiser et de coordonner les réflexions et travaux d'élaboration du projet (schéma et rapport environnemental) et pour ce faire il a été décidé la mise en place de 2 groupes de travail, animés par la DREAL Midi-Pyrénées et la Direction Départementale des Territoires de l'Ariège. Le premier est chargé de collecter, de mettre en forme et de préparer les orientations relatives aux ressources, aux besoins et à l'économie des ressources minérales. L'ensemble des thèmes concernant la protection de l'environnement a été confié au second groupe.

C'est dans le cadre de ce second groupe de travail que le BRGM propose d'apporter des éléments objectifs dans l'évaluation de l'impact des gravières ouvertes en milieu alluvionnaire, sur la nappe alluviale de l'Ariège.

Cette action est financée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et par le BRGM dans le cadre de ses actions de Service Public.

Un des premiers objectifs de cette étude est de quantifier, à partir de la BD TOPO<sup>®</sup>, les surfaces en eau issues de l'extraction de granulats dans le milieu alluvionnaire de l'Ariège et de l'Hers Vif.

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 sur la ressource alluviale.

Dans un troisième temps, ces nouvelles données ont été intégrées (volumes en eau soutirés à la nappe au droit des sites cartographiés) dans le modèle mathématique de la nappe alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif afin d'observer les possibles modifications occasionnées sur l'hydrodynamisme de la nappe à l'échelle du système alluvial dans son ensemble (fluctuations des niveaux d'eau, modifications des écoulements ou des échanges avec les cours d'eau....).

## **1.2. LOCALISATION**

Le secteur d'étude est limité au domaine alluvial des rivières de l'Ariège, de Varilhes jusqu'à la confluence avec la Garonne et de l'Hers Vif, de Mirepoix à la confluence avec l'Ariège (Illustration 1). La zone d'étude s'étend sur trois départements, l'Ariège (09) et la Haute-Garonne (31) en Midi-Pyrénées et l'Aude (11) en Languedoc-Roussillon.

Cette emprise représente environ cinquante kilomètres de long, un maximum de dix kilomètres de large, soit une superficie totale d'environ 460 km<sup>2</sup>.

Toutefois, le Schéma Départemental des Carrières de l'Ariège étant circonscrit aux limites administratives du département, les résultats ayant traités aux formations alluviales de l'Ariège (09) sont plus particulièrement décrits. Cette emprise ariégeoise représente une superficie d'environ 270 km<sup>2</sup>.

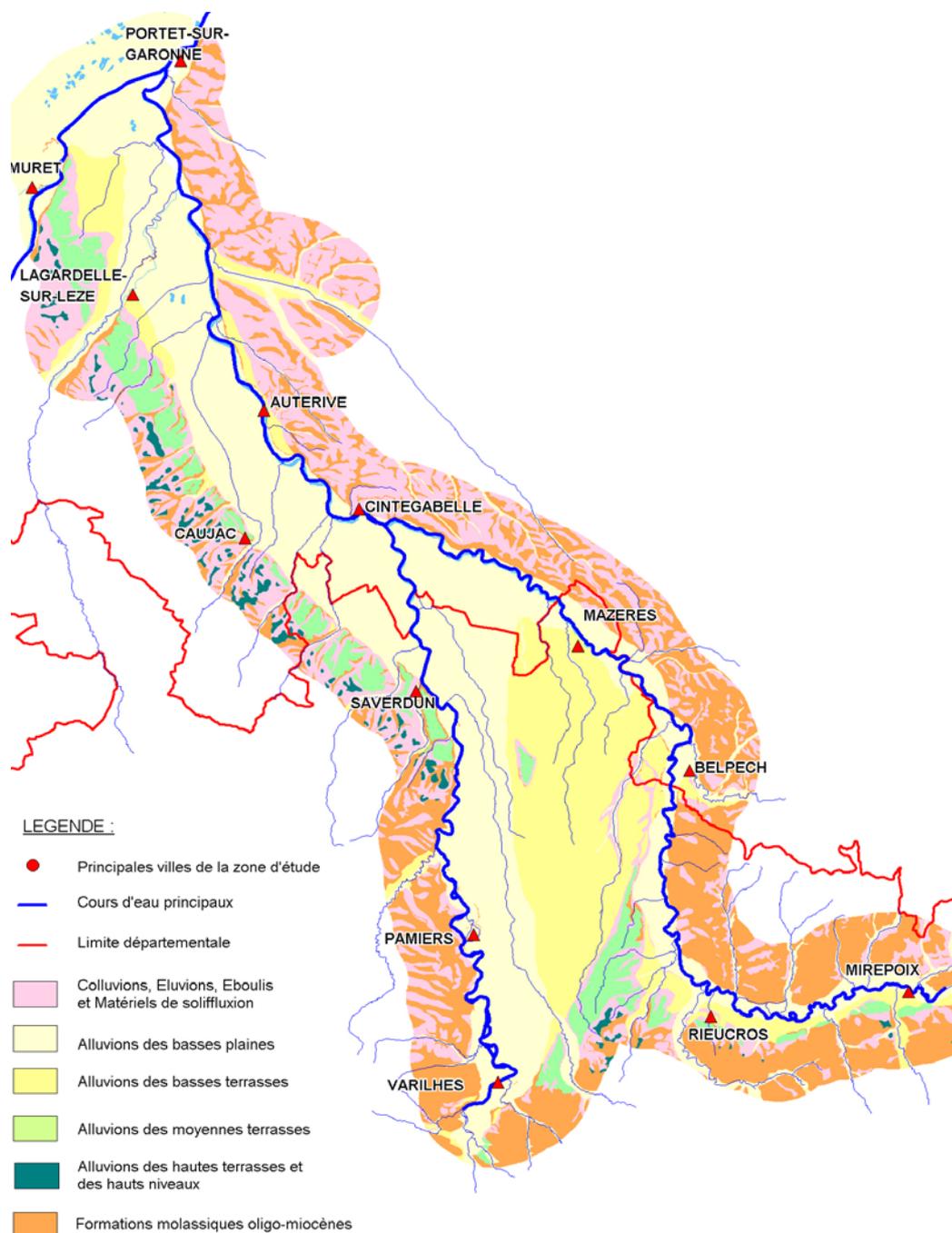


Illustration 1 – Localisation de la zone d'étude



## 2. Contexte géologique et hydrogéologique

Le substratum de la plaine alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif est constitué par des formations molassiques d'âge Aquitanien (Miocène) et Stampien (Oligocène). Ces terrains forment les coteaux de la vallée, ils affleurent également dans le lit de ces deux rivières.

Il s'agit d'un domaine hydrogéologique sans aquifère libre, constitué de couches semi-perméables capacitatives mais sans échange significatif avec la surface. L'imperméabilité globale de la partie supérieure de la molasse induit un ruissellement important et rapide des eaux de pluie.

Sur ces formations molassiques, les rivières de l'Ariège et de l'Hers Vif ont creusé au Quaternaire leurs vallées alluviales et déposé des sédiments essentiellement sableux et graveleux selon un système à cinq niveaux de terrasses étagées (Illustration 2) :

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

Ces alluvions sont les plus élevées dans la topographie (paliers étagés de 90 à 150 m au-dessus de l'étiage), elles sont datées du Donau (Pléistocène inférieur). Elles se distinguent par l'importance des évolutions pétrographiques et pédologiques.

Seuls quelques lambeaux de hautes terrasses subsistent en rive gauche de l'Ariège entre Le Vernet et Muret et entre l'Ariège et l'Hers vif au niveau de Coussa. Ils présentent une fraction argileuse issue de l'altération des éléments granitiques plus importante que celle des alluvions récentes, induisant une diminution de la perméabilité. Les nappes des hautes terrasses sont donc peu développées et d'extension réduite.

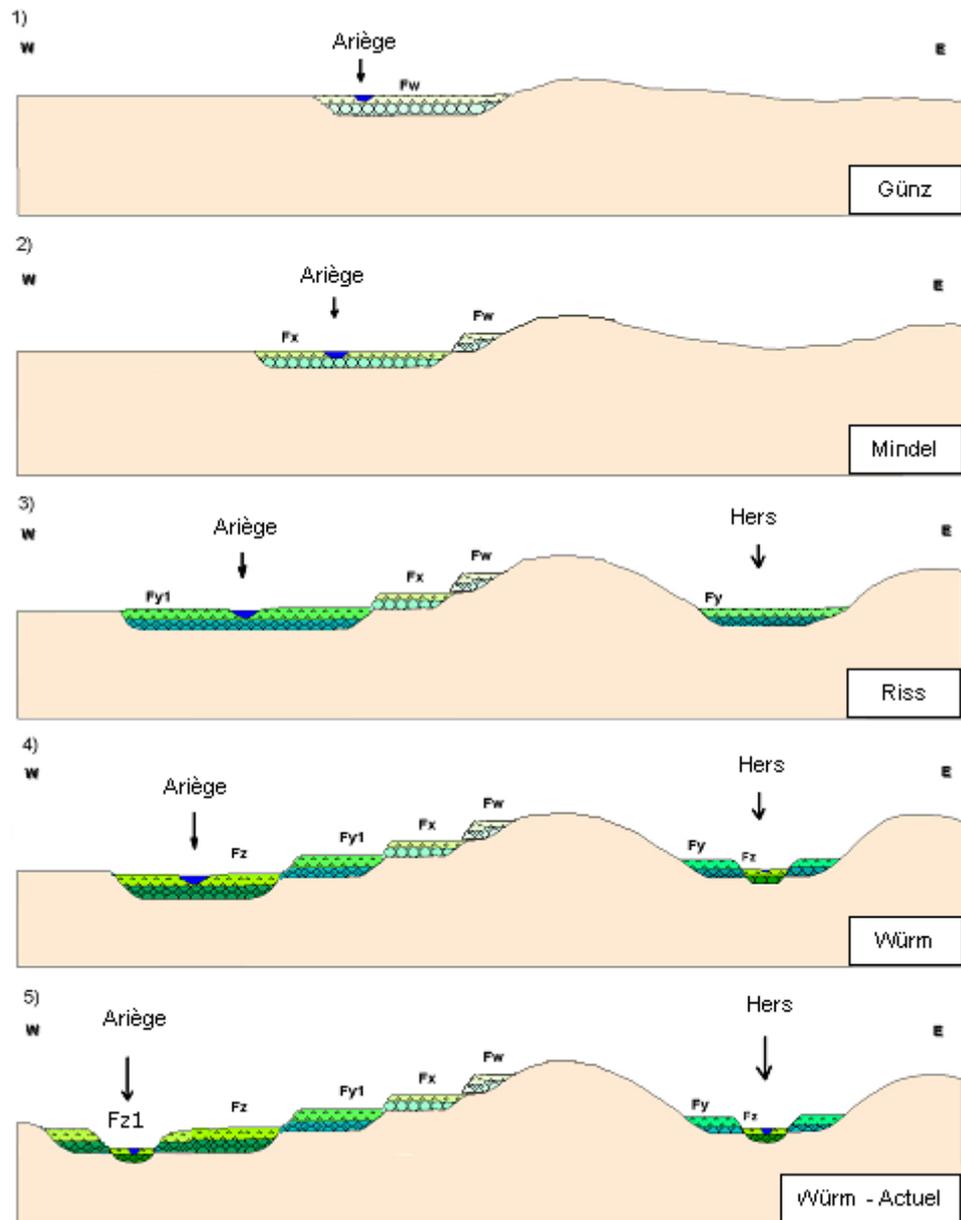
- **Alluvions des moyennes terrasses**

Ces terrasses apparaissent en lambeaux plus ou moins réduits sur la rive gauche de l'Ariège entre les communes de Saverdun et de Muret, sur la rive gauche de l'Hers entre Mirepoix et La-Bastide-de-Lordat, sur la butte de Montaut isolée au milieu de la basse terrasse ainsi qu'entre l'Ariège et l'Hers au niveau de la commune Les Pujols.

L'altération de ces terrasses est également très poussée et la perméabilité des terrains faible. Les graves, épaisses de plusieurs mètres, sont recouvertes d'une couche superficielle limoneuse, ayant subi une évolution pédologique de type podzolique qui les rend pratiquement imperméables.

- **Alluvions des basses terrasses**

Ces alluvions sont constituées par des graves recouvertes de limons inégalement réparties mais généralement plus fréquents et plus épais vers le nord. L'épaisseur des graves est comprise entre 5 et 6 mètres.



*Illustration 2 - Schéma théorique de la mise en place des terrasses alluviales du complexe Ariège-Hers d'après une synthèse bibliographique*

Ces terrasses se développent nettement dans le sud de la zone d'étude, de la commune de Varilhes à celle de Mazères, constituant la basse Boulbonne. Vers le nord de la vallée, leur extension devient moindre et plus morcelée ; elles se situent en rive gauche de l'Ariège de Miremont à Saubens et en rive droite de Auterive à Venerque.

- **Alluvions de la basse plaine**

Ces alluvions sont constituées de graviers ou galets enrobés dans une matrice sableuse dont la taille est décroissante de l'amont vers l'aval. Ces cailloux sont parfois surmontés de limons, essentiellement dans le secteur de Saverdun. L'épaisseur de la basse plaine est variable, de quelques mètres (2 à 4 m) vers la confluence à 10 à 16 mètres vers Pamiers.

Les alluvions de la basse plaine couvrent la majeure partie de la plaine depuis Saverdun jusqu'à la confluence avec la Garonne.

Les niveaux aquifères des alluvions de l'Ariège sont constitués par les graviers grossiers et les lentilles sableuses perméables de la basse terrasse, épais de 5 à 6 mètres, et par ceux de la basse plaine dont l'épaisseur varie de 5 à 15 mètres. Ils sont surmontés d'une couverture de 0,5 à 2 mètres de limons argileux récents, due aux dépôts formés lors des crues. Les valeurs de la perméabilité des alluvions dans la plaine de l'Ariège sont comprises entre  $7.10^{-5}$  et  $5.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$  (valeurs issues du calage du modèle hydrodynamique en phase transitoire).

Résultant essentiellement de l'érosion des terrains molassiques, les dépôts de la plaine alluviale de l'Hers Vif sont essentiellement formés de sables et de quelques graviers surmontés, comme pour l'Ariège, de limons argileux récents pouvant atteindre 10 mètres de puissance. La fraction sableuse constitue le niveau aquifère. Les valeurs de perméabilité de ces dépôts sont comprises entre  $7.10^{-5}$  et  $10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$  (valeurs issues du calage du modèle en phase transitoire).

Ces alluvions sablo-graveleuses de la basse terrasse et de la basse plaine contiennent une nappe libre continue en relation hydraulique directe avec l'Ariège et l'Hers Vif. En effet, la basse terrasse est une terrasse emboîtée, induisant une continuité hydraulique avec la basse plaine.

Cette nappe soutient le débit de l'Ariège et de l'Hers Vif en l'alimentant durant une grande partie de l'année, notamment en période estivale. Toutefois, ces 2 rivières coulent dans un chenal alluvial encaissé de 5 à 6 mètres entamant la molasse sous-jacente. Celle-ci affleure au bas des berges abruptes. Vers l'aval en direction de Toulouse, l'encaissement de l'Ariège est moins marqué mais celle-ci continue de couler sur les formations molassiques. De ce fait, en période hivernale marquée par de fortes crues, l'Ariège et l'Hers Vif ont peu d'influence sur la nappe.

L'alimentation de la nappe est assujettie aux apports pluviométriques et dans une moindre mesure au déversement des nappes des terrasses sus-jacentes. Ce phénomène est bien visible par exemple dans le secteur de la commune de Les Pujols où de nombreuses sources issues des moyennes terrasses se déversent au niveau de la basse plaine de l'Hers. De ce fait, le potentiel de recharge du système est particulièrement sensible aux variations climatiques annuelles. Les oscillations de cette nappe sont importantes et les basses eaux très marquées en fin d'été et en automne.



### **3. Impact hydrodynamique des gravières sur le milieu alluvionnaire**

Ce chapitre rappelle 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. Les différents éléments décrits dans ce chapitre proviennent d'une synthèse des connaissances citées dans la bibliographie.

L'extraction de granulats en plaine alluviale est généralement synonyme de création de plans d'eau, subissant des pertes par évaporation. Cet impact, objet du présent rapport, est développé dans le chapitre 4.

#### **3.1. IMPACT SUR LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS**

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 influencer sur la piézométrie de la nappe et donc sur les débits échangés.

Dans une gravière, le plan d'eau s'équilibre à l'horizontale (ou subhorizontale) 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 simultanément les phénomènes suivants (Illustration 3) :

- un abaissement du niveau piézométrique en amont 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 piézométrique en aval du plan d'eau et une divergence des écoulements de la nappe à l'aval traduisent une restitution de l'eau de la gravière à la nappe (alimentation).

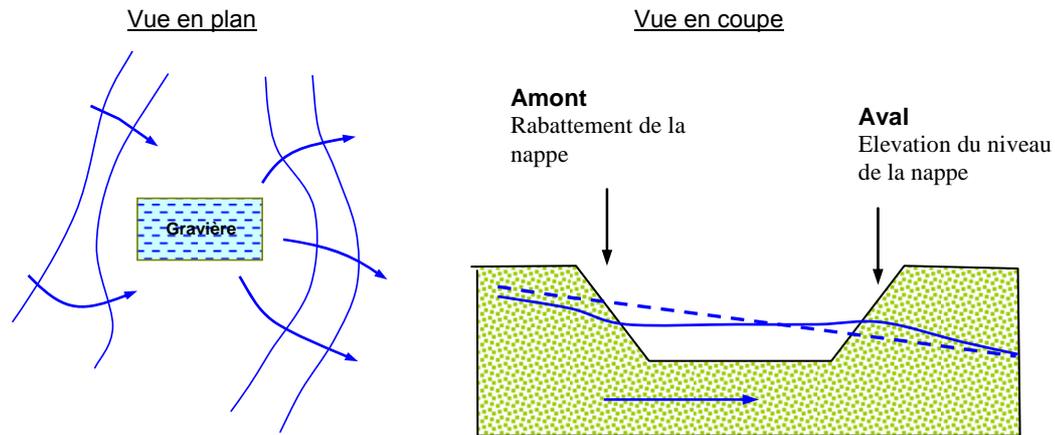


Illustration 3 - Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges non colmatées

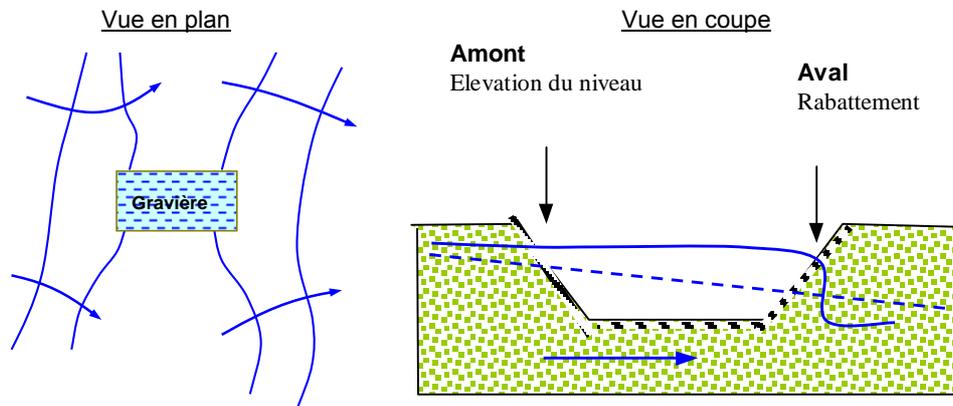


Illustration 4 - Impact d'une gravière sur la piézométrie de la nappe. Berges colmatées

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 (Illustration 4).

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 (Illustration 5).

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

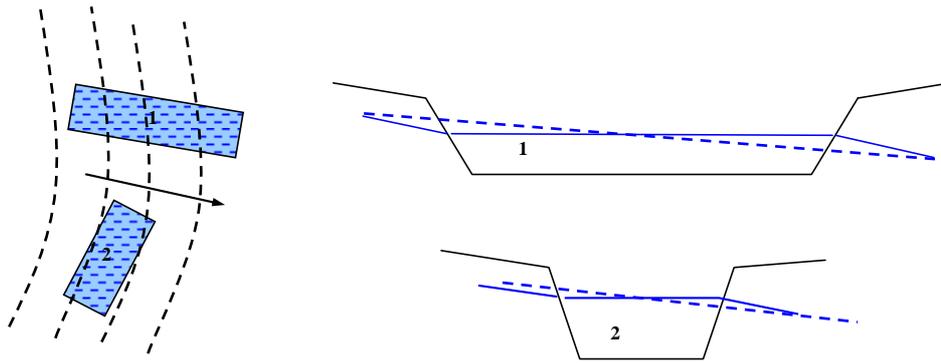


Illustration 5 - Influence de l'orientation de la gravière

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.

### 3.2. 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).

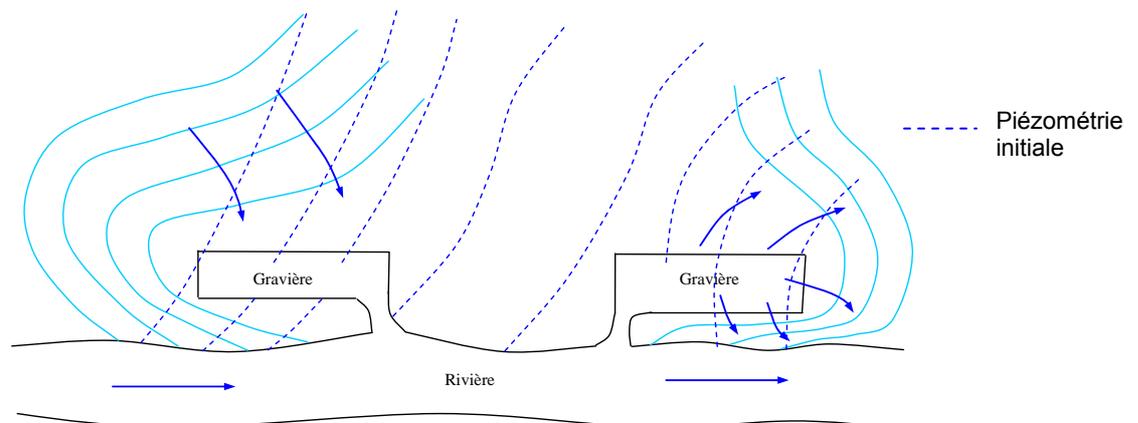
Les aquifères alluviaux sont en relation étroite avec les cours d'eau, qu'il s'agisse d'une recharge de la nappe par la rivière en période de hautes eaux ou au contraire d'une alimentation de la rivière par la nappe et du soutien de son débit en période d'étiage.

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 (Illustration 6).

### 3.3. 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 de mètres, les variations piézométriques étant de l'ordre de quelques centimètres à plusieurs mètres selon le contexte d'exploitation.



*Illustration 6 - Effet de l'implantation d'une gravière en communication avec un cours d'eau sur la piézométrie de la nappe alluviale*

Les effets sur la productivité de captages d'eau implantés aux abords d'excavations peuvent être positifs ou négatifs en fonction de la localisation de ces captages 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 du battement de la nappe 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.

## 4. Estimation de l'impact quantitatif des gravières sur la nappe alluviale

### 4.1. REPARTION DES PLANS D'EAU

La cartographie des surfaces en eau du secteur d'étude est issue des données vectorielles 2010 de la BD TOPO<sup>®</sup> de l'IGN (version 2.1.), extraite du thème hydrographie par une sélection de la classe correspondante aux surfaces en eau.

Cette cartographie numérique des plans d'eau a permis le calcul de leur surface. A partir de ces données (version 2.1. de la BD TOPO<sup>®</sup>), il est ainsi possible d'évaluer la surface totale des plans d'eau liée à l'extraction de granulat ou assimilé dans la plaine alluviale de l'Ariège.

La surface totale estimée est ainsi de 343,6 ha (3,44 km<sup>2</sup>) dont 179,0 ha (1,79 km<sup>2</sup>) uniquement sur l'emprise de la plaine située dans le département de l'Ariège. Ces surfaces incluent les entités suivantes :

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

Une analyse complémentaire a été réalisée à titre de comparaison avec la carte d'occupation du sol du projet CORINE Land Cover 2000. Le total des surfaces en eau en utilisant la classification de niveau 3 (code CLC3, 131 : Extraction de matériaux) est de 201,60 ha. L'écart entre ces deux valeurs peut être lié à l'évolution des sites d'extraction de granulats sur la période séparant les deux mises à jour des objets cartographiques (Illustration 7).

Titre	Format	Echelle, résolution	Source	Mise à jour
BD TOPO	Vecteur	1 : 50 000	IGN	2010
CORINE Landcover 2000	Vecteur	1 : 50 000	IFEN	2000

*Illustration 7 - Origine des données cartographiques utilisées*

L'illustration 8 présente la distribution des surfaces des plans d'eau recensées. La moitié des plans d'eau a une surface comprise entre 0,5 et 2,0 ha, et sur la totalité des surfaces, la moitié est inférieure à 8,0 ha.

L'illustration 9 présente les résultats des recherches de surfaces en eau selon d'après les bases cartographiques BD TOPO.

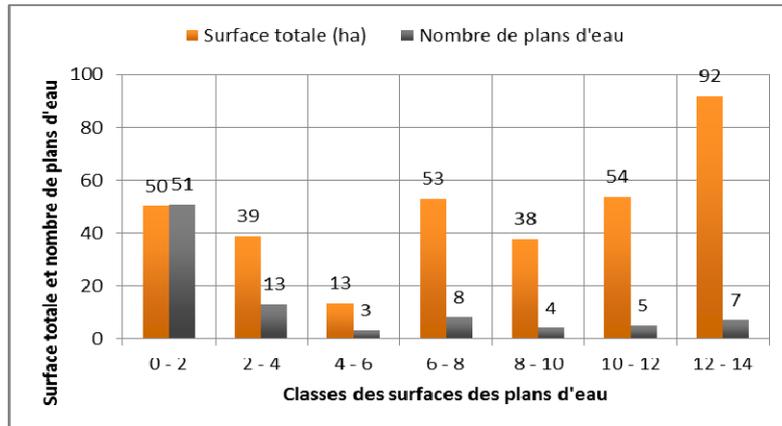


Illustration 8 - Distribution des plans d'eau recensés

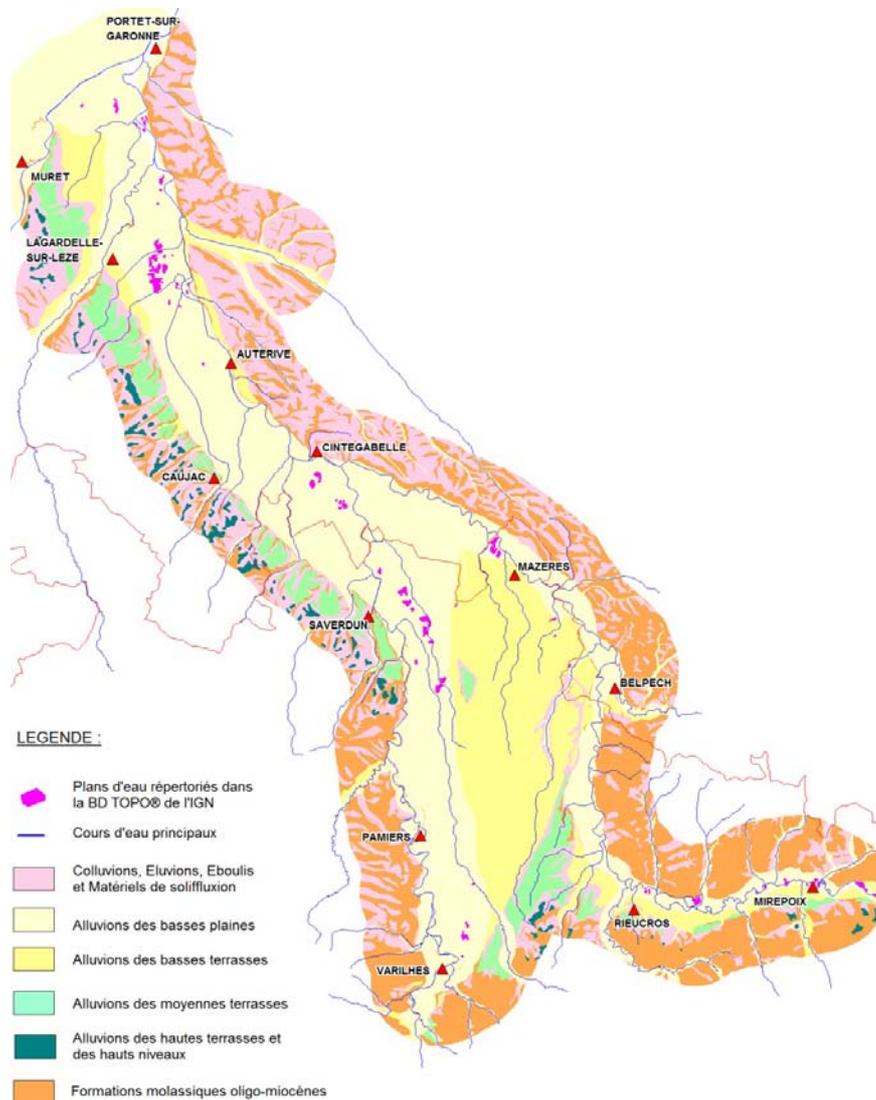


Illustration 9 - Distribution des surfaces en eau supérieures à 0,5 ha

## **4.2. IMPACT DES GRAVIERES DE LA ZONE D'ETUDE SUR LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ARIEGE**

L'évaluation de l'impact des gravières sur la nappe alluviale 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 évaporation).

### **4.2.1. 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 est la suivante :

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

- P : précipitations sur la gravière en mm ;
- (Na - Ne) : flux de la nappe en mm par m<sup>2</sup> de surface de la gravière, avec Na le volume d'entrée et Ne volume de sortie ;
- E : lame d'eau évaporée, en mm, à la surface libre de la gravière ;
- $\Delta H$  : 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.

Le flux de la nappe (Na-Ne) contribue au maintien de la hauteur d'eau dans la gravière, en équilibre avec la nappe. 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 période, et en fonction du colmatage du site, la gravière constitue une zone d'alimentation de la nappe. 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 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 interannuelles 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 net de la nappe correspond alors aux valeurs des précipitations soustraites à l'évaporation (P-E). La comparaison du cumul annuel de ces deux termes est généralement négative (cumul des précipitations inférieur au cumul de l'évaporation sur l'année), se traduisant alors par un déficit en eau, compensé par la nappe.

Les données météorologiques relatives aux précipitations (PP), à l'évapotranspiration potentielle (ETP) et à l'évaporation (EVEAU) et ont été collectées auprès de Météo

France pour les stations de Cugnaux (31157001) et de Montaut (09199002) où des mesures de rayonnement sont effectuées (Illustration 10).

	Station de Cugnaux (31)		Station de Montaut (09)			
	Période	Moyenne	Période		Moyenne	
Précipitations (mm)	1995 - 2011	609	1995 - 2011		691	
ETP (mm)	1995 - 2011	970	1995 - 2011		930	
Evaporation (mm)	1995 - 2011	1069	1995 - 2001	2005 - 2011	981	1083

Illustration 10 - Données météorologiques collectées auprès de Météo France

Les précipitations sont en moyenne plus importantes au sud de la plaine, et notamment vers Pamiers. Cela s'explique par le contexte géographique et notamment la proximité des massifs montagneux générant une plus forte pluviométrie et des températures globalement moins élevées. A l'inverse, le vent d'Autan soufflant du sud-est accentue l'assèchement de l'atmosphère dans la partie nord de la plaine, induisant des valeurs d'ETP et d'évaporation plus importantes dans la région toulousaine.

En fonction de la localisation des surfaces en eau dans la plaine alluviale, les données climatologiques des stations de Cugnaux ou de Montaut ont été prises en compte dans les différents calculs (Illustration 12).

L'illustration 11, témoigne de l'évolution des précipitations annuelles pour les stations de Cugnaux et de Montaut sur la période 1995 - 2011.

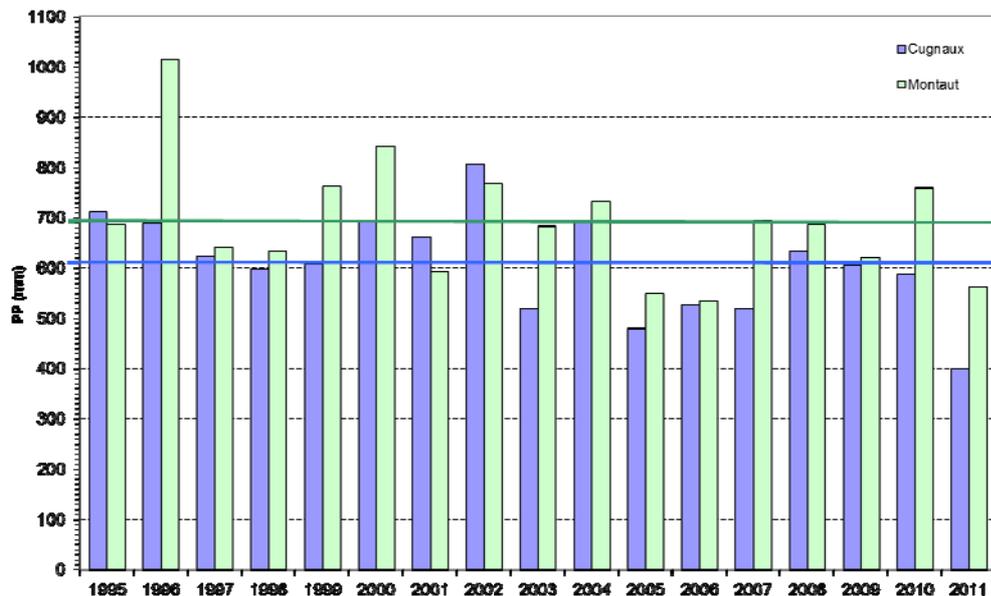


Illustration 11 – Evolution annuelle des précipitations pour les stations de Cugnaux et de Montaut sur la période 1995 – 2011

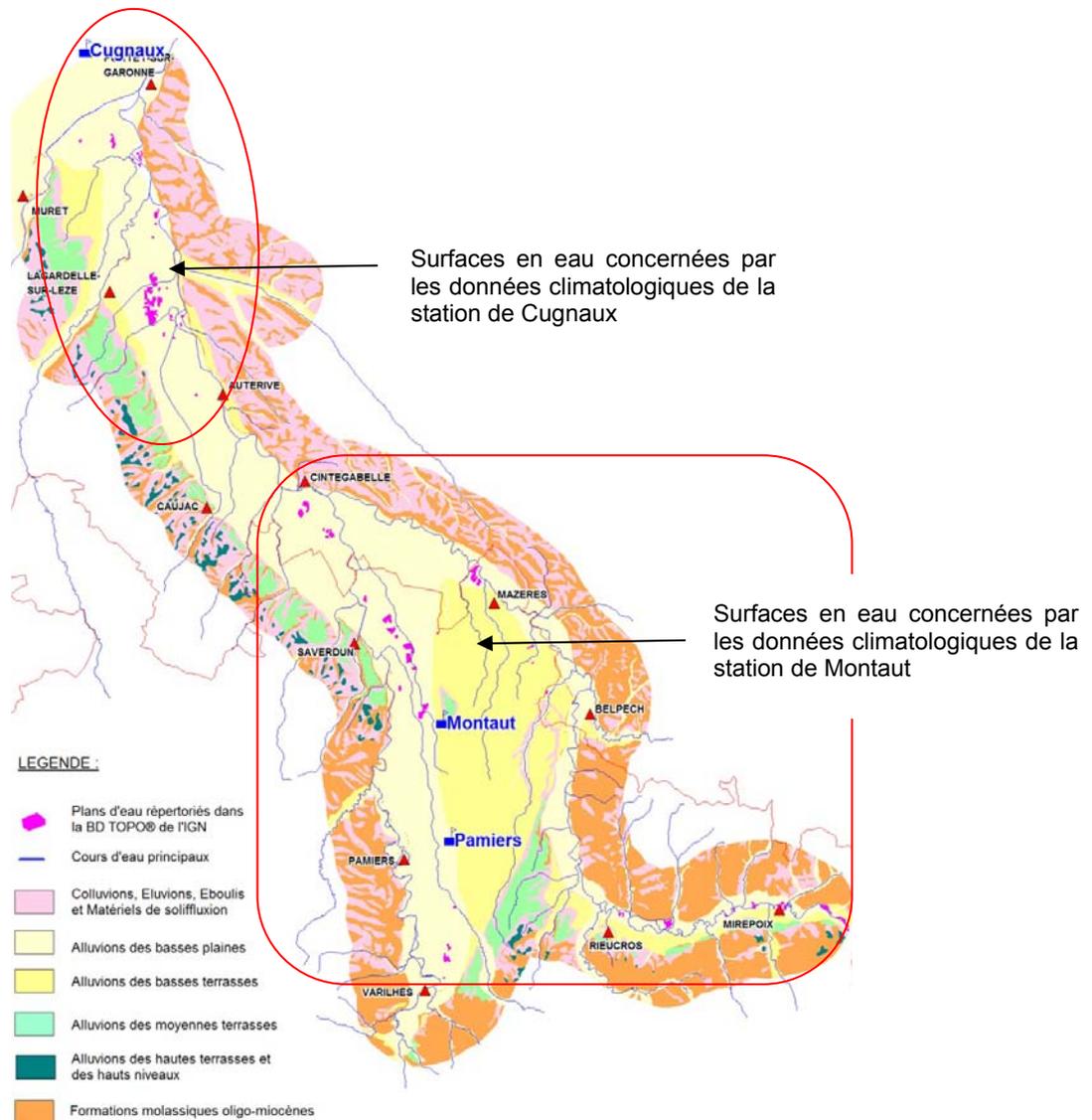


Illustration 12 – Localisation des stations météorologiques d'intérêt

L'historique des données mesurées à la station de Cugnaux fait ressortir l'année 2011 comme déficitaire en précipitation avec un cumul annuel de l'ordre de 400 mm, le plus faible enregistré sur la période. A l'inverse, 2002, se caractérise par de fortes précipitations, de l'ordre de 810 mm. La moyenne de précipitations sur les 17 années de suivi est d'environ 610 mm.

A la station de Montaut, l'année 2006 marquée par la sécheresse et des températures élevées présente la plus faible valeur annuelle de précipitations, de l'ordre de 534 mm. A contrario, 1996, période excédentaire en pluie, se caractérise par de fortes précipitations, de l'ordre de 1014 mm. L'historique des données de la station, donne une moyenne de précipitations sur 17 ans d'environ 690 mm.

L'illustration 13 témoigne de l'évolution de l'évaporation annuelle pour les stations de Cugnaux et de Montaut sur la période 1995 – 2011 sachant que la chronique pour la station de Montaut est marquée par une lacune d'acquisition entre 2002 et 2004.

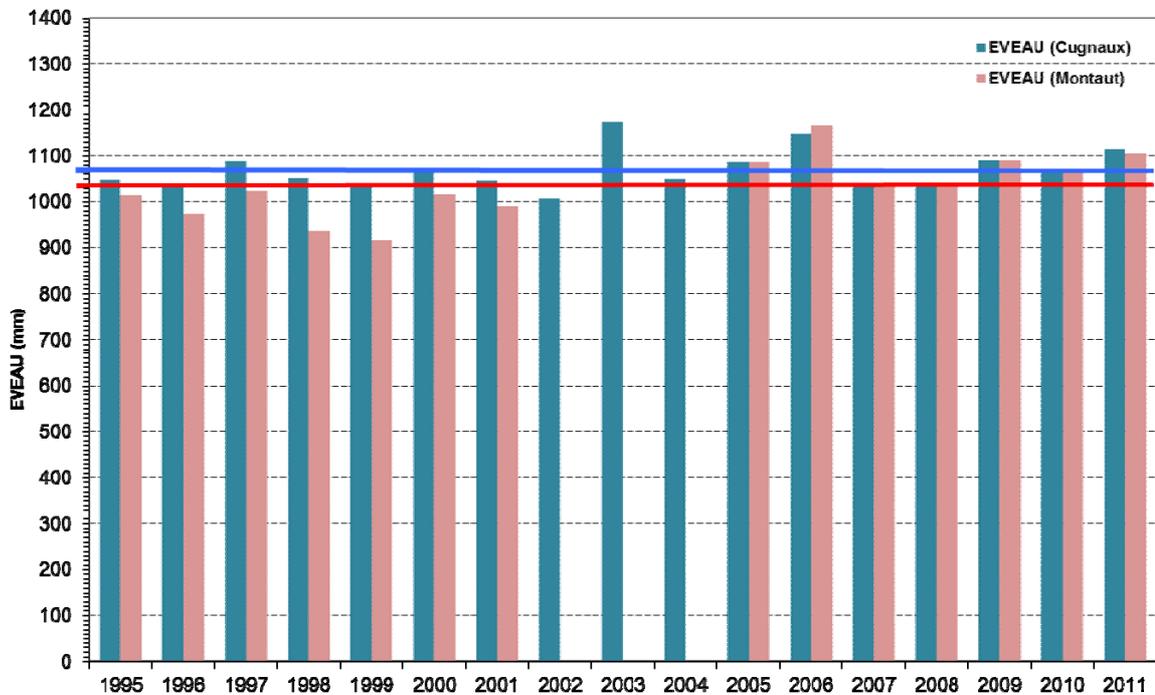


Illustration 13 - Evolution annuelle de l'évaporation (EVEAU) pour les stations de Cugnaux et de Montaut sur la période 1995 - 2011

Les chroniques acquises aux 2 stations font ressortir les années 2003 mais aussi 2006, marquées toutes deux par la sécheresse et des températures élevées, comme présentant les plus fortes valeurs annuelles d'évaporation enregistrées, estimées entre 1150 et supérieure à 1170 mm (sur ces 2 années et pour les 2 stations). A contrario, 2002, période excédentaire en pluie pour la station de Cugnaux, se caractérise logiquement par un faible cumul d'évaporation, équivalent à 1007 mm. Ce même constat est mis en évidence à la station de Montaut mais pour les années 1999 et 1996 avec des cumuls de l'ordre de 915 et 970 mm. L'historique des données de la station de Cugnaux donne des moyennes d'évaporation sur 17 ans d'environ 1070 mm.

Les Illustration 14 et 15 (respectivement pour les stations de Cugnaux et de Montaut) présentent, sur un même graphique, les données de précipitation et d'évaporation annuelles. La comparaison de ces deux données sur les 17 années de chroniques (1995 - 2011), permet de dégager :

- une année dite « humide » correspondant à de fortes précipitations concomitantes avec une faible évaporation,
- une année dite « sèche » correspondant à de faibles précipitations concomitantes avec une forte évaporation,

- une année dite « moyenne » correspondant à un faible écart à la moyenne annuelle des précipitations concomitant avec un faible écart à la moyenne annuelle de l'évaporation.

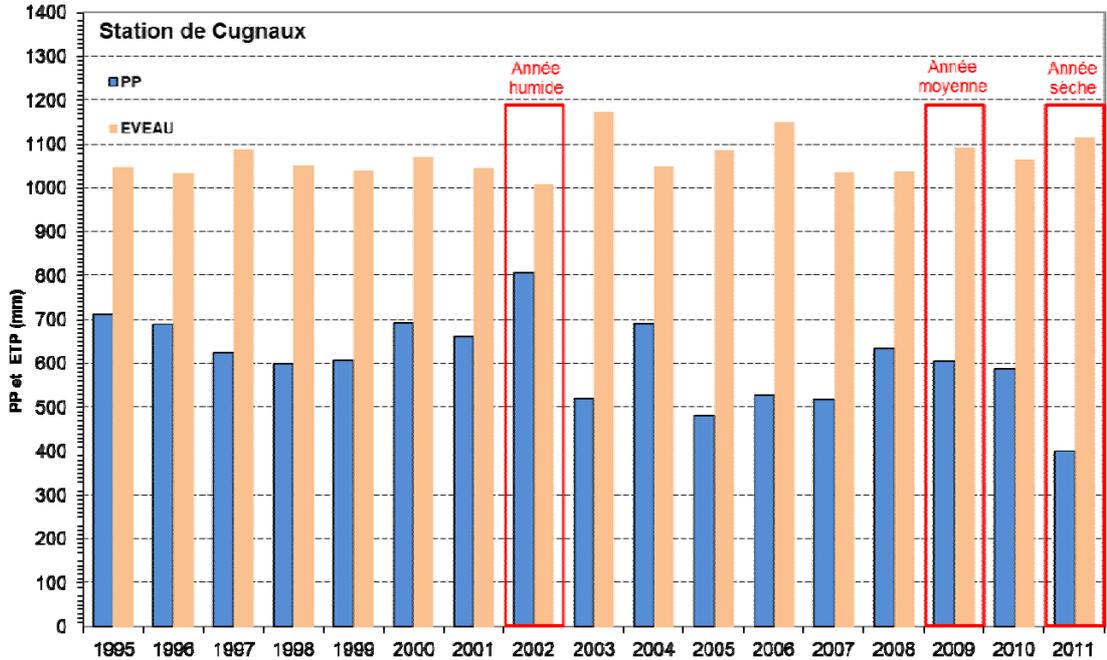


Illustration 14 – Comparaison des données de précipitations et d'évaporation annuelle sur la période 1995 – 2011 à la station de Cugnaux

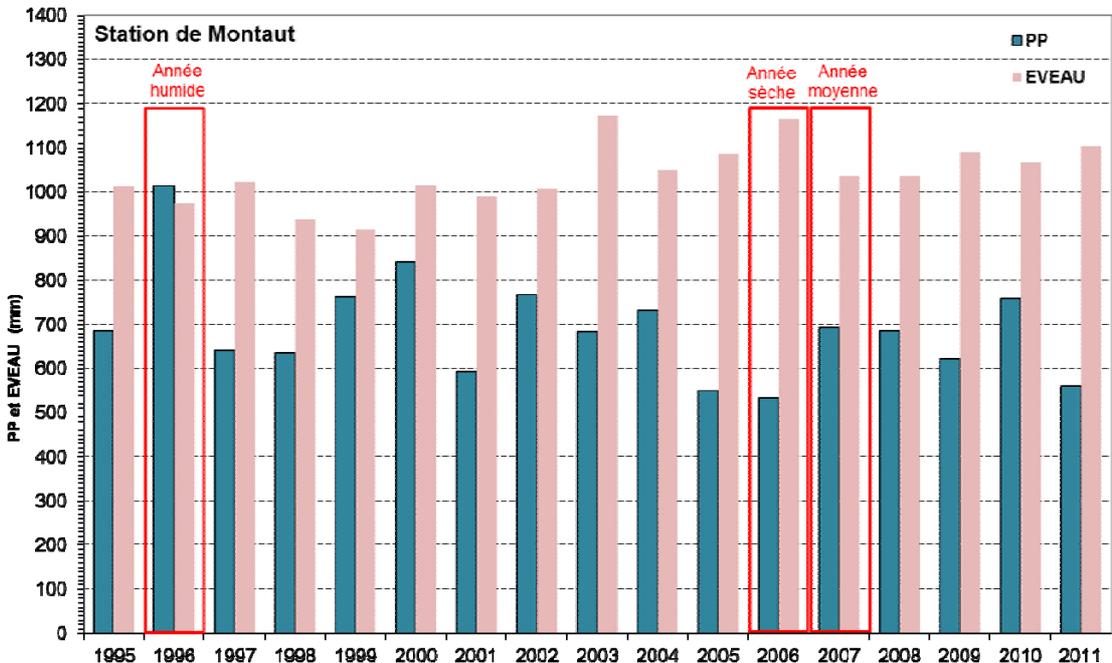


Illustration 15 - Comparaison des données de précipitations et d'évaporation annuelle sur la période 1995 – 2011 à la station de Montaut

Ainsi, pour la station de **Cugnaux, 2002** est à ce titre une **année humide** avec de fortes précipitations (808 mm, il s'agit du maximum) et une faible évaporation (1007 mm, valeur minimale observée). Pour la station de **Montaut**, il s'agit de l'année **1996** avec les plus fortes valeurs de précipitations enregistrées (1014 mm) et une faible évaporation (974 mm, valeur proche de 915 mm minimum observé en 1999).

A l'inverse, pour la station de **Cugnaux, 2011** est considérée comme étant une **année sèche** avec une forte évaporation (1113 mm, valeur proche du maximum observé en 2003 de 1172 mm) et le plus faible cumul de précipitations enregistré (400 mm). Pour la station de **Montaut**, il s'agit de l'année **2006** caractérisée par les plus fortes valeurs d'évaporation mesurée (1165 mm) et par le cumul des précipitations le plus faibles (534 mm).

Pour la station de **Cugnaux, 2009** correspond à une **année moyenne** avec des valeurs de précipitations de 604 mm (la moyenne étant de 609 mm) et d'évaporation de 1090 mm (la moyenne étant de 1069 mm). A **Montaut, 2007** est considérée comme l'année moyenne, les précipitations sont de 693 mm (la moyenne étant de 691 mm) et l'évaporation de 1036 mm (la moyenne étant de 1040 mm). Ces valeurs moyennes comparées à celles acquises annuellement permettent de se positionner par rapport à un contexte climatique tantôt déficitaire, tantôt excédentaire.

Au niveau des 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 identifiés *via* la BD TOPO®. Toutefois, ces volumes d'eau évaporés, pour les années humides, moyennes, sèches et pour 2011, sont estimés en fonction de la localisation des surfaces en eau vis-à-vis des stations de Cugnaux ou de Montaut (Illustration 12).

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

L'illustration 16 indique l'impact de l'évaporation pour une année humide (2002), moyenne (2009) et sèche (2011) calculé pour les plans d'eau situés dans la partie nord de la plaine (données climatologiques de la station de Cugnaux). La superficie concernée par ces surfaces en eau est estimée à environ 132 ha.

	Années		
	Humide (2002)	Moyenne (2009)	Sèche (2011)
Evaporation (mm)	1007	1090	1113
Précipitation (mm)	808	604	400
P-E (mm)	-200	-486	-713
Volume d'eau évaporé par unité de surface (m <sup>3</sup> /ha)	1995	4860	7130
Volume d'eau évaporé sur l'ensemble des surfaces en eau (Mm <sup>3</sup> )	0.26	0.64	0.94

*Illustration 16 - Impact de l'évaporation au niveau des gravières du nord de la plaine selon le contexte climatique de 2002, 2009 et 2011*

L'illustration 17 montre les variations annuelles des pertes par évaporation au droit des gravières. En fonction des conditions climatiques, elles varient de 0,26 millions de m<sup>3</sup> à 0,94 millions de m<sup>3</sup> en année sèche.

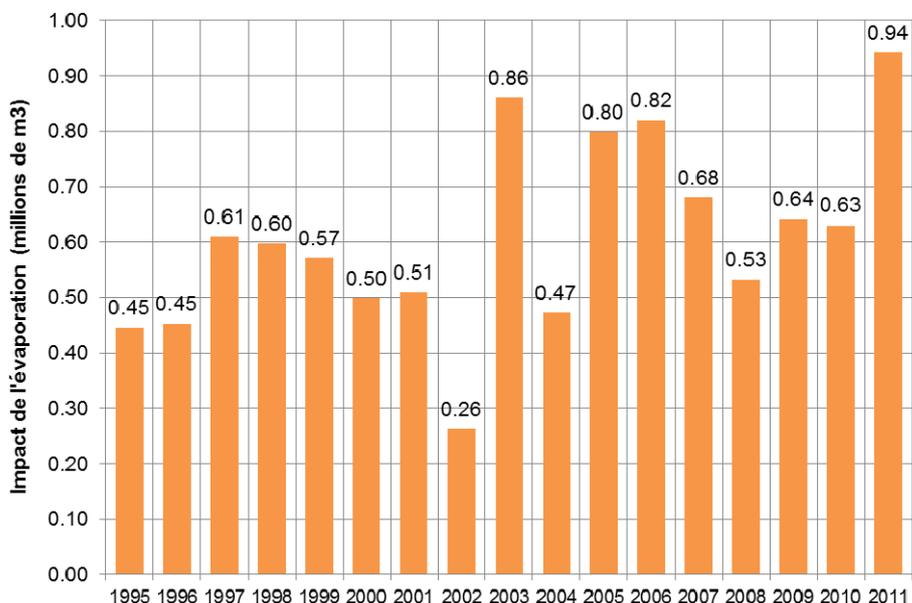


Illustration 17 – Variation annuelle de pertes par évaporation au droit des gravières de la partie nord de la plaine alluviale (données climatologiques de la station de Cugnaux)

L'impact de l'évaporation (évalué via P-E) est le plus fort en année sèche (2011), avec 0,94 millions de m<sup>3</sup> d'eau sortis du système à l'échelle des surfaces en eau libre de la partie nord de la plaine (132 ha). En contexte d'année moyenne (2009), l'impact est moindre, de l'ordre de 0,64 millions de m<sup>3</sup> d'eau. A l'inverse, en année humide (2002), année caractérisée par des précipitations abondantes, ces pertes s'atténuent notablement avec un impact estimé à 0,26 millions de m<sup>3</sup> d'eau.

L'illustration 18 indique l'impact de l'évaporation pour une année humide (1996), moyenne (2007), sèche (2006) et pour 2011 calculé pour les plans d'eau situés dans la partie sud de la plaine (données climatologiques de la station de Montaut). La superficie concernée par ces surfaces en eau est estimée à environ 212 ha.

	Année			
	Humide (1996)	Moyenne (2007)	Sèche (2006)	2011
Evaporation (mm)	974	1036	1165	1 104
Précipitation (mm)	1014	693	534	562
P-E (mm)	41	-344	-631	-542
Volume d'eau évaporé par unité de surface (m <sup>3</sup> /ha)	-407	3435.3	6307.7	5424
Volume d'eau évaporé sur l'ensemble des surfaces en eau (Mm <sup>3</sup> )	-0.09	0.73	1.34	1.15

Illustration 18 - Impact de l'évaporation au niveau des gravières du sud de la plaine selon le contexte climatique de 1996, 2006, 2007 et 2011

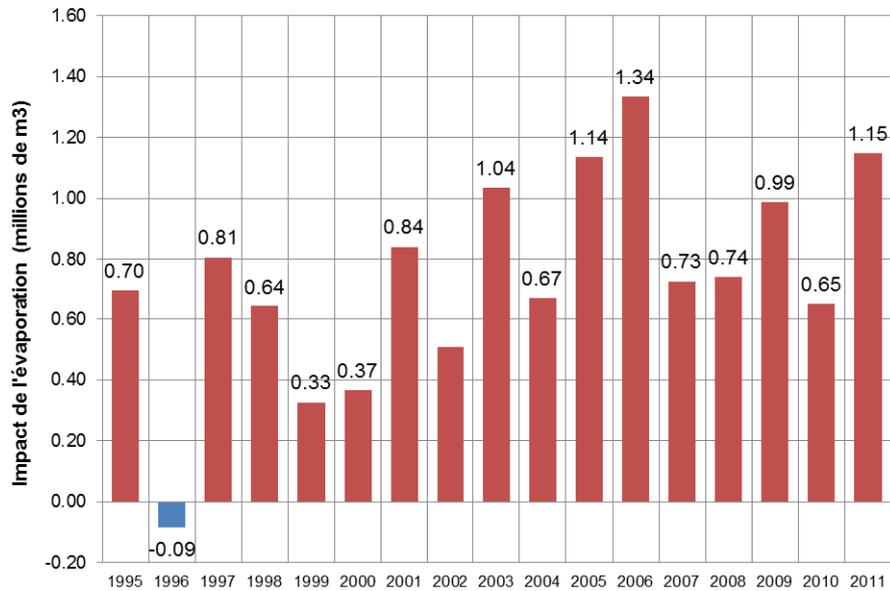


Illustration 19 - Variation annuelle de perte par évaporation au droit des gravières de la partie sud de la plaine alluviale (données climatologiques de la station de Montaut)

L'impact de l'évaporation (évalué via P-E) est le plus fort en 2006, avec environ 1,34 millions de m<sup>3</sup> d'eau sortis du système à l'échelle des surfaces en eau libre de la partie sud de la plaine (212 ha). L'année 2006 a en effet été marquée par de très faibles précipitations et des températures élevées. En contexte d'année moyenne (2007), l'impact est environ deux fois moindre, de l'ordre de 0,73 millions de m<sup>3</sup> d'eau. A l'inverse, en année humide (1996), année caractérisée par des précipitations abondantes, contexte exceptionnel qui ne s'est produit qu'une seule fois sur les 17 années de suivi, le bilan est positif (0,09 millions de m<sup>3</sup> (90 000 m<sup>3</sup>) rejoignent la nappe via les gravières). Cependant cet état demeure rare.

Le tableau de l'illustration 20 récapitule l'impact global de l'évaporation pour l'ensemble des plans d'eau présents sur la plaine alluviale de l'Ariège (départements de Haute-Garonne et Ariège), soit une superficie totale de ces surfaces en eau estimée à 343,6 ha. La seconde ligne du tableau présente les pertes provenant de cet impact direct en considérant uniquement les plans d'eau implantés dans le département de l'Ariège (179 ha), ayant donc pour référence les données climatologiques de la station de Montaut.

	Années			
	Humide	Moyenne	Sèche	2011
Impact de l'évaporation sur l'ensemble des surfaces en eau de la plaine (343,6 ha) (Mm3)	0.18	1.37	2.28	2.09
Impact de l'évaporation sur les surfaces en eau du département de l'Ariège (179 ha) (Mm3)	-0.07	0.61	1.13	0.97

Illustration 20 - Impact de l'évaporation au niveau de l'ensemble des gravières de la plaine alluviale de l'Ariège selon le contexte climatique

#### 4.2.2. 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 et de nature transitoire, il est 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 remplacés par l'eau de l'aquifère. Cette action induit une convergence des écoulements de nature transitoire, semblable à celui créé par un pompage. Une fois l'activité arrêtée, l'équilibre est rétabli dans le milieu alluvionnaire.

En 2011, 9 exploitations de granulats alluvionnaires en activité sont recensées dans la plaine alluviale dont 6 localisées dans le département de l'Ariège.

Les données correspondantes à la production annuelle (tonnage annuel) des gravières autorisées sur la zone d'étude ont été fournies par la DREAL Midi-Pyrénées. La période renseignée est celle comprise entre 2003 et 2011 pour les exploitations du département de l'Ariège. Concernant celles situées en Haute-Garonne, l'évolution du tonnage est uniquement renseignée entre 2008 et 2011 (Illustration 21).

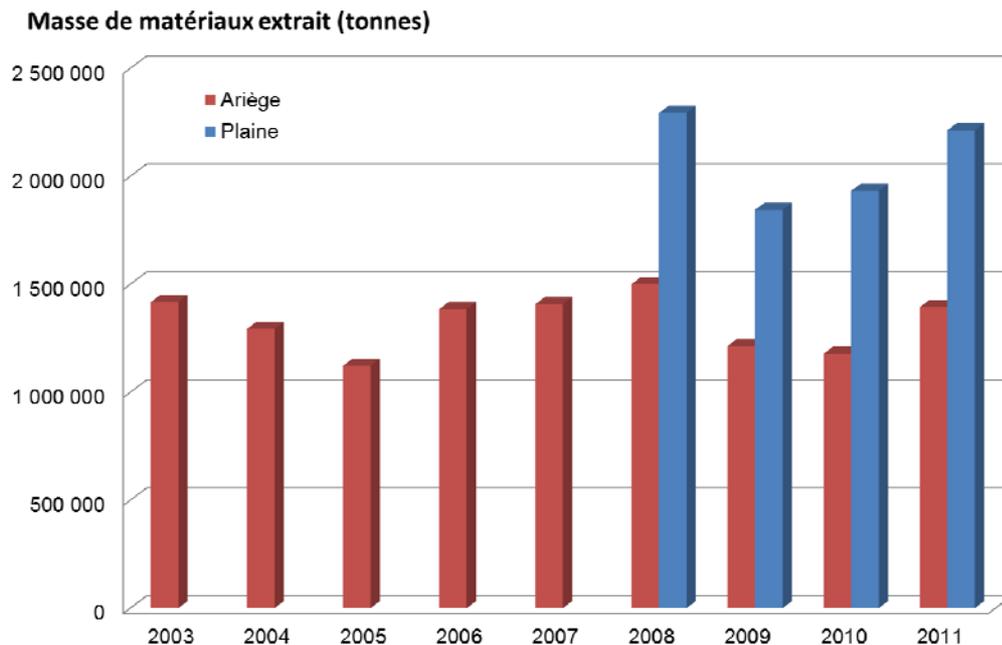


Illustration 21 – Evolution annuelle de la production réelle de matériaux alluvionnaires extraits dans la plaine alluviale de l'Ariège

En considérant une masse volumique moyenne pour les alluvions de  $2600 \text{ kg/m}^3$ , le volume moyen extrait annuellement entre 2008 et 2011 est de l'ordre de 0,8 millions de  $\text{m}^3$ . En estimant une extraction des matériaux en eau sur une épaisseur saturée moyenne égale au  $2/3$  de l'épaisseur totale du gisement, le volume des matériaux à prélever en eau est estimé en moyenne à environ 0,5 millions de  $\text{m}^3$ .

Compte tenu de la nature des alluvions concernées (graviers et sables), la porosité totale de ces terrains est évaluée en moyenne à 15 %. Le retrait d'un mètre cube de matériaux saturé en place génère ainsi un déficit de 850 litres (0.85 m<sup>3</sup>) d'eau gravitaire pour combler le volume de vides créé.

Ainsi, le volume d'eau global moyen mobilisé au cours de l'exploitation sur l'ensemble des sites de la zone d'étude sur la période comprise entre 2008 et 2011 est estimé autour de 0,45 millions de m<sup>3</sup>. En considérant que ce volume de vide se soit accru linéairement sur une durée de 20 ans jusqu'à atteindre la valeur actuelle, il est possible de calculer l'équivalent d'un débit fictif continu correspondant à un pompage global moyen estimé à 51,5 m<sup>3</sup>/h tout au long de l'année (24h/24, 7j/7).

Pour la période comprise entre 2003 et 2011, l'évolution du volume d'eau mobilisé au cours de l'exploitation des 6 sites en activité dans le département de l'Ariège est renseignée dans le tableau de l'illustration 22.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Masse de matériaux extraits (tonnes) en Ariège</b>	1 417 500	1 293 000	1 122 330	1 385 000	1 407 860	1 500 322	1 214 334	1 178 511	1 394 128
<b>Volume de matériaux extraits (m<sup>3</sup>/an)</b>	545 192.3	497 307.7	431 665.4	532 692.3	541 484.6	577 046.9	467 051.5	453 273.5	536 203.1
<b>Volume de matériaux extraits en eau (m<sup>3</sup>/an)</b>	363 461.5	331 538.5	287 776.9	355 128.2	360 989.7	384 697.9	311 367.7	302 182.3	357 468.7
<b>Volume d'eau mobilisé (m<sup>3</sup>)</b>	<b>308 942.3</b>	<b>281 807.7</b>	<b>244 610.4</b>	<b>301 859.0</b>	<b>306 841.3</b>	<b>326 993.3</b>	<b>264 662.5</b>	<b>256 855.0</b>	<b>303 848.4</b>
<b>Débits fictifs continus (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>35.3</b>	<b>32.2</b>	<b>27.9</b>	<b>34.5</b>	<b>35.0</b>	<b>37.3</b>	<b>30.2</b>	<b>29.3</b>	<b>34.7</b>

*Illustration 22 – Evolution des volumes d'eau mobilisés par l'extraction des matériaux sur l'ensemble des exploitations en activité recensées en Ariège*

#### **4.2.3. 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 de 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 P-E du chapitre 4.2.1).

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 :

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

- P = Précipitations ;
- ETP = Evapotranspiration potentielle ;
- R = Ruissellement ;
- $I_p$  = Infiltration en profondeur ;
- $\Delta S$  = 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 s'effectuent d'après l'algorithme suivant :

- 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 ( $P_{\text{eff}}$ ) 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 23 schématise les différents composants intervenant dans un bilan hydrique.

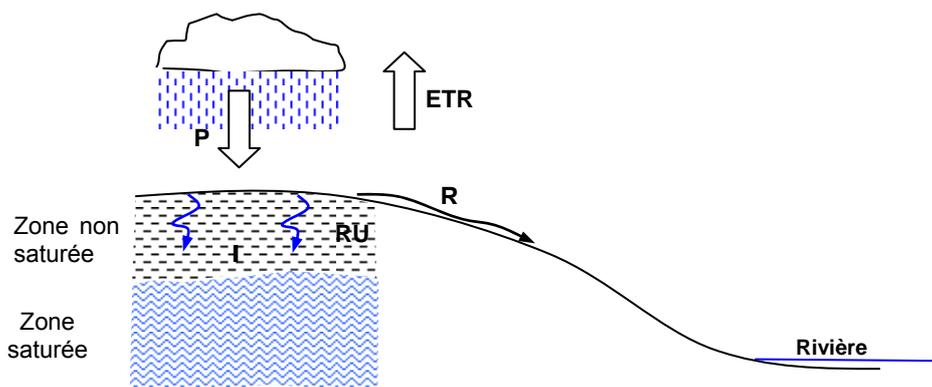


Illustration 23 - Composants intervenant dans un bilan hydrologique

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

La cartographie de l'occupation du sol de la plaine est issue d'un précédent programme de recherche dénommé Transpolar ayant la même emprise d'étude que le présent travail. Ce projet portait sur la connaissance des mécanismes intervenant dans le transfert des solutés (nitrates et produits phytosanitaires) du sol vers les eaux souterraines. Une des actions entreprises a concerné la caractérisation des pressions polluantes exercées sur la plaine via l'évaluation quantitative des intrants employés et la cartographie de l'usage des sols. Ce dernier point a été réalisé en partenariat avec l'Ecole d'Ingénieurs de Purpan (EIP) par le traitement d'images satellitaires (SPOT) acquises à quatre dates différentes en 2008.

Sept classes d'occupation du sol ont été identifiées à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude (467,5 km<sup>2</sup>) à l'exception de la partie amont des vallées de l'Ariège et de l'Hers Vif (correspondant à moins de 7% de la surface totale de la zone d'étude) où les images n'ont pu être analysées.

L'illustration 24 présente la répartition de l'occupation des sols en pourcentage de la surface totale considérée par la zone d'étude (43 680 ha). Les terrains agricoles apparaissent nettement majoritaires dans le paysage de la zone d'étude avec environ 51% des surfaces occupées, dont 23 % par des cultures d'hiver (céréales ou colza) et 28 % par celles d'été (type maïs ou tournesol). Par ailleurs, environ 15 % du secteur d'investigation est recouvert de surfaces urbanisées et industrielles et 28 % est constitué de prairies et forêts.

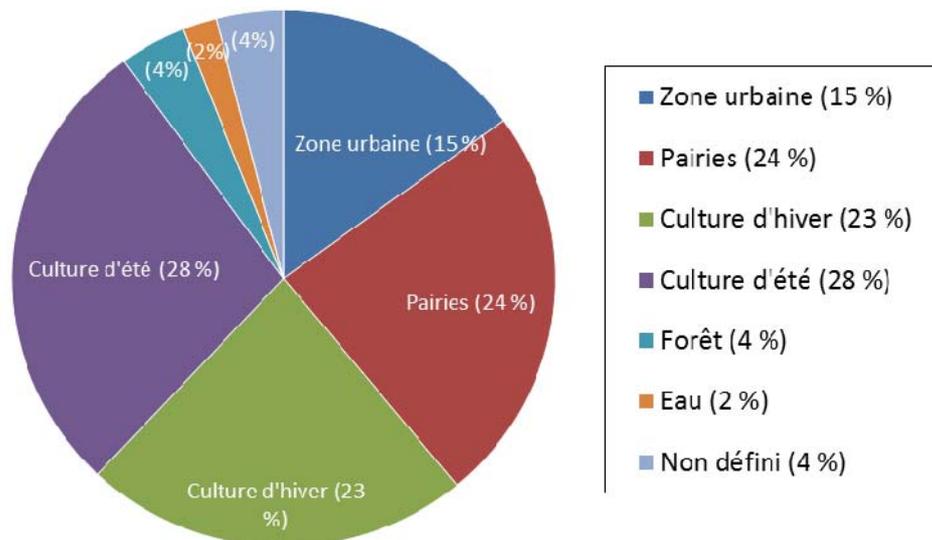


Illustration 24 - Répartition de l'occupation des sols sur la zone d'étude en 2008

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 recouverte 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 Météo-France) 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 considérée en 2008, 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 (soit 20 mm pour une épaisseur de 40 cm). A l'inverse, les sols limoneux représente un maximum avec des valeurs de RU de 2 mm par cm de sol (soit 80 mm pour une épaisseur de 40 cm).

Les secteurs sur lesquels sont situées les extractions de granulats concernent principalement la basse plaine de l'Ariège et de l'Hers Vif. 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 par la Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées. Ce travail de synthèse a permis de définir des unités cartographiques (UC) 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, six unités appartenant au grand ensemble « Bassin Central de Midi-Pyrénées » et au sous-ensemble « Plaines et terrasses alluviales (Quaternaire) » sont identifiées. L'illustration 25 représente la carte des grands ensembles morpho-pédologiques sur lesquels des plans d'eau ont été recensés.

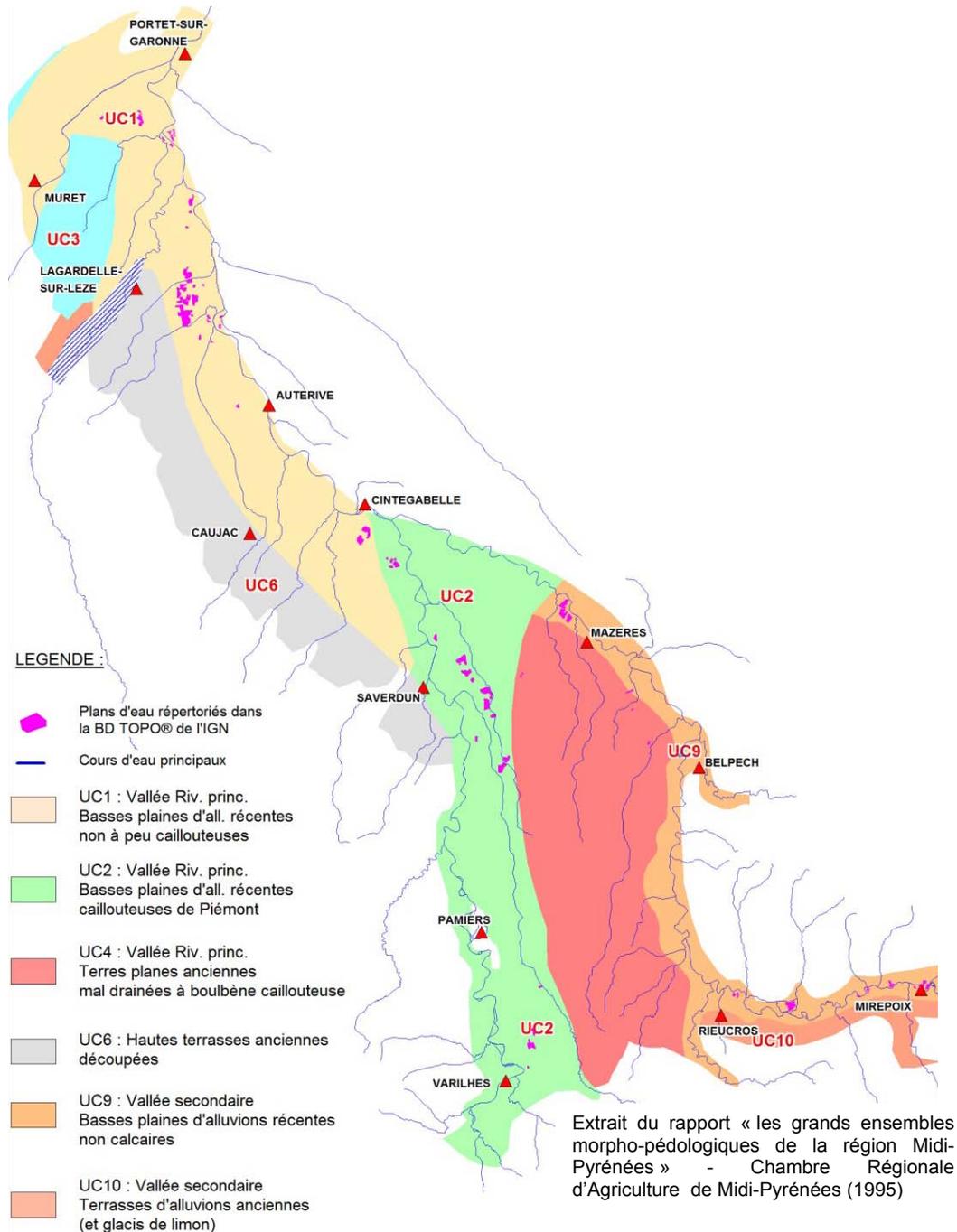


Illustration 25 - Répartition des unités morpho-pédologiques de la plaine alluviale

La distribution des gravières sur les types de sols identifiés est présentée sur l'illustration 26.

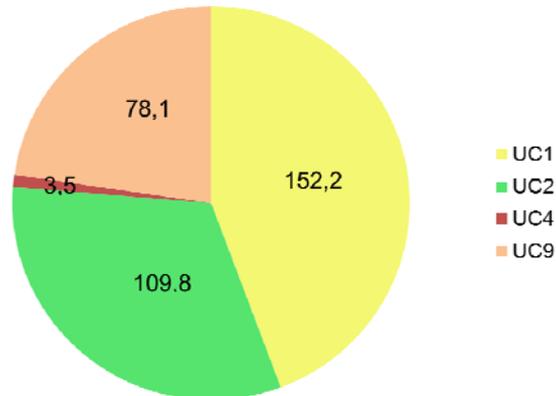


Illustration 26 - Surface (en ha) des UC occupée par les gravières

Une majorité des gravières (76,3 % en surface) ont été implantés sur des sols issus des terrasses alluviales de l'Ariège les plus récentes, à savoir la basse plaine des alluvions récentes (Fz) :

- UC1 (44,3 %) : cette unité s'étend de Saverdun à Portet-sur-Garonne, en partie nord de la plaine. Les sols sont peu évolués et très hétérogènes, en liaison avec la grande variabilité de la nature des dépôts. Ils se caractérisent par la présence en surface de limons argilo-sableux peu caillouteux avec l'apparition à plus ou moins grande profondeur (entre 0,6 et 2 m de profondeur) de graves à matrice sablo-argileuse. Dans la partie sud de l'unité (proche de Cintegabelle), les limons sablo-argileux de surface contiennent de nombreux éléments grossiers (10 à 30%) ;
- UC2 (32%) : cette unité localement dénommée sols de grausses s'étend de Cintegabelle à Foix et correspond à des sols jeunes, peu évolués et issus de dépôts alluviaux récents de la basse plaine de l'Ariège. Ils se caractérisent par une dominance de galets, graviers et sables recouverts d'une épaisseur plus ou moins réduite de sables argilo-limoneux caillouteux.

Ces sols présentent des réserves utiles faibles à élevées en fonction de leur texture, considérées entre 50 et 60 mm pour la première et entre 30 et 40 mm pour la seconde (Illustration 27).

Les autres excavations (23,7 %) sont situées sur les ensembles pédologiques UC4 (1,0 %), et UC9 (22,7 %) :

- UC4 concerne toute la partie centrale de la plaine. Elle s'étend longitudinalement de Coussa à Mazères, et latéralement de l'est de Pamiers à Belpech. Ces sols localement définis sous le terme de boubènes se caractérisent par la superposition d'un horizon de surface à texture limoneuse (limono-sablo-argileux) devenant progressivement plus argileux et nettement plus caillouteux (à partir de 0,3 à 1 m de profondeur),

- UC9 concerne pratiquement toute la vallée de l'Hers, de Mirepoix jusqu'à Mazères. Il s'agit de sols se caractérisant par la superposition d'horizons limono-sablo-argileux avec la présence de cailloutis dans les 30 premiers centimètres. La part limons/argile des sols varie en fonction de la localisation.

Les sols de ces deux UC présentent des réserves utiles moyennes à élevées, considérées entre 50 et 60 mm (Illustration 27).

Le tableau de l'illustration 27 répertorie la distribution des gravières en fonction des différents types de sols identifiés dans la zone d'étude. Des valeurs de RU comprises entre 30 à 40 mm et 50 à 60 mm ont été prises en compte pour les calculs des bilans hydriques correspondant aux surfaces des unités respectives UC2, UC4 et UC1, UC9.

UC	Surface (ha)	Surface (%)	Nombre	%	RU (mm)
1	152,20	44,3	41	47,1	50 – 60
2	109,80	32,0	21	24,1	30 – 40
4	3,50	1,0	5	5,8	30 – 40
9	78,10	22,7	20	23,0	50 – 60
<b>Total</b>	343,6	100,0	87	100,0	

Illustration 27 - Distribution des gravières sur les types de sols

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

Le bilan a ainsi été effectué à un pas de temps décadaire entre janvier 1995 et décembre 2011 à partir des données de pluviométrie et d'évapotranspiration potentielle (ETP) d'une part, de la station de Cugnaux et d'autre part, de celle de Montaut, pondérée par les coefficients culturaux ( $K_c$ ) 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 Illustration 28 et Illustration 29 fournissent les valeurs pour les années humides (1996), moyennes (2007) et sèches (2006) correspondantes aux terrains du sud de la plaine. Les données de la station de Cugnaux caractérisant les sols de la partie nord de la plaine fournissent des valeurs d'ETR toujours supérieures alors que l'infiltration est nettement moins importante quelques soient les années considérées.

Année	P (mm)	ETP corrigée (mm) ( $K_c=0.5$ )	ETR (mm)		I (mm)	
			(RU=30 - 40 mm)	(RU=50 - 60 mm)	(RU=30 - 40 mm)	(RU=50 - 60 mm)
1996	1014	429	365 - 383	407 - 424	595 - 585	585 - 585
2006	534	535	349 - 358	368 - 372	168 - 158	148 - 138
2007	693	466	364 - 374	382 - 394	307 - 297	287 - 277
2011	562	552	346 - 365	386 - 416	156 - 131	111 - 91

Illustration 28 - Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la partie sud de la plaine (station de Montaut) à partir de données d'ETP Penman corrigée ( $K_c$  caractéristique d'un sol nu pris à 0.5)

Année	P (mm)	ETP corrigée (mm) (Kc=1.2)	ETR (mm)		I (mm)	
			(RU=30 - 40 mm)	(RU=50 - 60 mm)	(RU=30 - 40 mm)	(RU=50 - 60 mm)
1996	1014	1031	627 - 644	646 - 646	345 - 335	325 - 315
2006	534	1283	415 - 432	451 - 459	65 - 59	59 - 59
2007	693	1118	534 - 557	574 - 588	82 - 58	28 - 14
2011	562	1325	471 - 481	489 - 499	30 - 20	10 - 7

Illustration 29 - Valeurs d'ETR et d'infiltration dans la partie sud de la plaine 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)

En 1996 (année humide) comme en 2006 (année sèche), l'évapotranspiration réelle (ETR) est élevée pour les sols cultivés (Kc=1.2) avec une réserve utile de 50 à 60 mm (sols limoneux), de l'ordre de 646 mm en 1996 et de 451 à 459 mm en 2006. En comparaison, pour un même sol dépourvu de végétation (Kc=0.5), l'ETR est moindre, de 407 à 424 mm en 1996 (- 34%) et de 368 à 372 mm (- 19%) en 2006.

Avec des valeurs légèrement moins importantes en comparaison des sols limoneux, le même constat est observé pour les sols graveleux (RU évaluées entre 30 et 40 mm), à savoir une évapotranspiration réelle élevée pour les sols cultivés (Kc=1.2). Ainsi, en 1996, l'ETR était comprise entre 627 et 644 mm (soit 3% moins importante que pour les sols limoneux) et entre 415 et 432 mm en 2006 (-8%). En comparaison, pour un même sol dépourvu de végétation (Kc=0.5), l'ETR est moindre, de 365 à 383 mm en 1996 et de 349 à 358 mm en 2006.

Comme le montrent l'illustration 30 et l'illustration 31 le coefficient cultural a pour effet dans un cas ou dans l'autre de maximiser ou minimiser l'évapotranspiration potentielle.

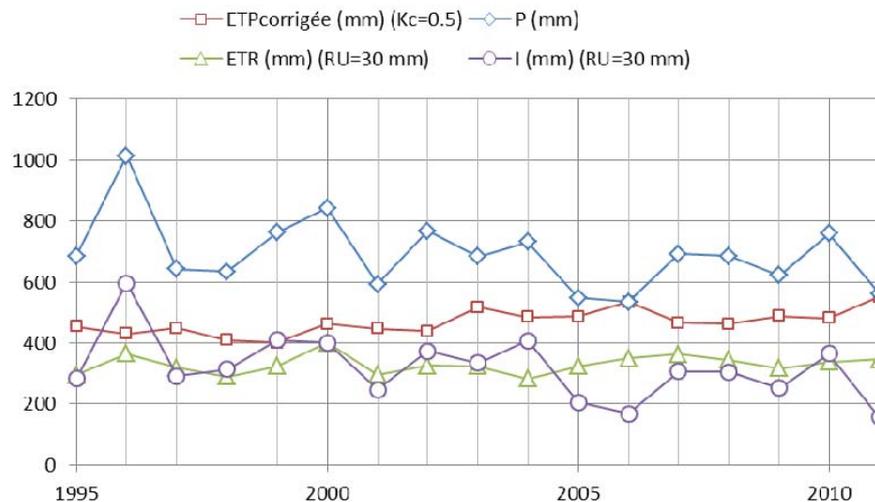


Illustration 30 - Bilan hydrique calculé à partir des données de la station de Montaut entre 1995 et 2011 en considérant une RU=30 mm et Kc=0,5

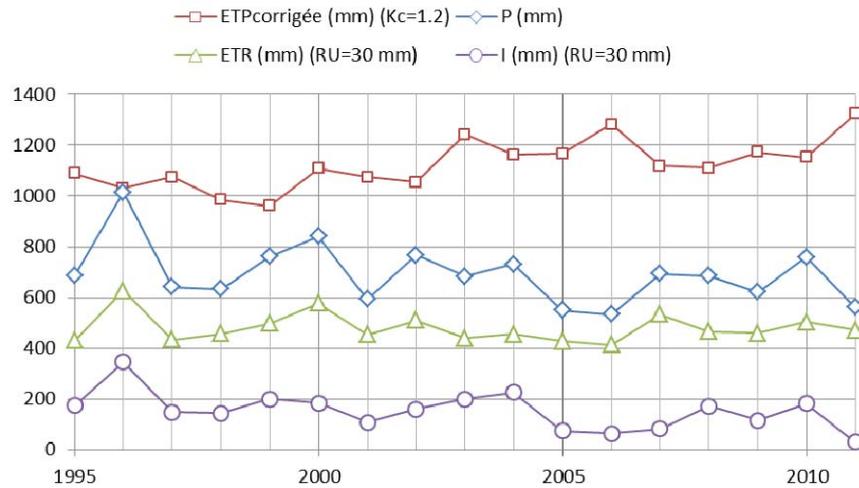


Illustration 31 - Bilan hydrique calculé à partir des données de la station de Montaut entre 1995 et 2011 en considérant une  $RU=30\text{ mm}$  et  $Kc=1.2$

Comme le montrent l'illustration 31 et l'illustration 32, plus la réserve utile du sol est élevée, plus ce dernier sera susceptible de satisfaire les besoins liés à l'évapotranspiration potentielle et d'autant plus que celui-ci correspond à un sol cultivé ( $Kc=1.2$ ).

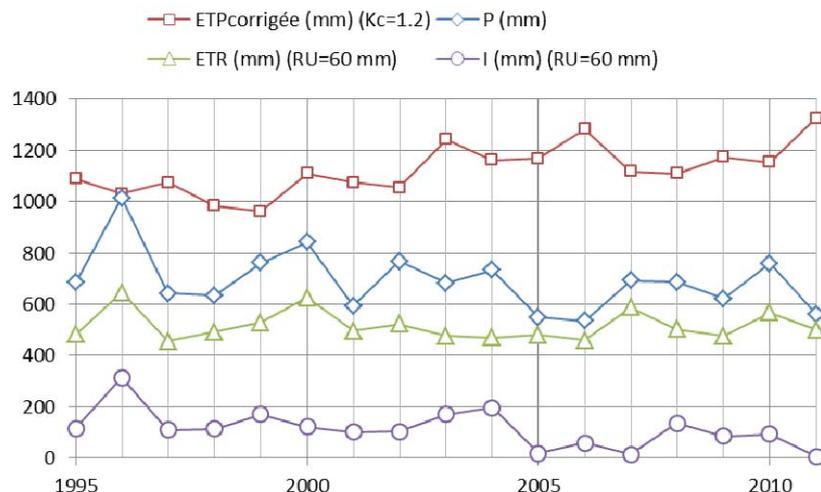


Illustration 32 - Bilan hydrique calculé à partir des données de la station de Montaut entre 1995 et 2011 en considérant une  $RU=60\text{ mm}$  et  $Kc=1.2$

En termes d'**infiltration**, pour un sol nu ( $Kc=0.5$ ) dont la réserve utile est évaluée entre 30 et 40 mm (sols graveleux), l'année **1996**, caractérisée par des précipitations abondantes, présente une infiltration importante comprise entre **595 et 585 mm**. Inversement, 2006 (déficit pluviométrique) enregistre des valeurs d'infiltration comprise entre 168 et 158 mm.

L'infiltration est d'autant plus favorisée que le sol est non cultivé (plus du double) et cela en raison de la plus faible évapotranspiration. A titre de comparaison, pour un sol cultivé ( $Kc=1.2$ ) dont la réserve utile est estimée entre 30 et 40 mm, l'infiltration était comprise entre 345 et 335 mm (-43%) en 1996 et entre 65 à 59 mm (-63%) en 2006.

#### d) Evaluation du déficit de volumes d'eau infiltrés pour la recharge de la nappe

Les calculs entrepris pour estimer le déficit de volumes d'eau infiltrés par la présence des plans d'eau répartis au sein de la plaine ont été menés en distinguant les surfaces en eau localisées dans la partie nord de la zone (dont les données sont issues de la station de Cugnaux) de celles situées dans le sud (à partir des mesures de la station de Montaut) (cf. Illustration 12).

Ces calculs de déficit de volumes d'eau infiltrés au droit des surfaces concernées par l'extraction de granulats ont été réalisés pour différents contextes climatiques en considérant des années dites humides, sèches et moyennes et pour les 2 configurations de coefficients culturaux (sols nus et cultivés) à partir des données surfaciques des plans d'eau cartographiés à l'aide de la BD TOPO® (version 2.1.) de 2010. N'ayant pas connaissance de l'évolution de l'extension des surfaces en eau dans les années antérieures, les calculs ont été menés en considérant les surfaces de 2010, ce qui tend à surévaluer les valeurs de déficit obtenues (surface en eau en augmentation constante ces 15 dernières années).

	Années			
	Humide	Moyenne	Sèche	2011
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau de l'ensemble de la plaine Kc = 0,5 (sols nus)	1,69 - 1,66	0,95 - 0,91	0,4 - 0,37	0,35 - 0,29
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau de l'ensemble de la plaine Kc = 1,2 (sols cultivés)	0,95 - 0,88	0,37 - 0,30	0,17 - 0,15	0,08 - 0,06
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau du département de l'Ariège Kc = 0,5 (sols nus)	1,06 - 1,05	0,53 - 0,52	0,29 - 0,27	0,24 - 0,20
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau du département de l'Ariège Kc = 1,2 (sols cultivés)	0,59 - 0,61	0,10 - 0,07	0,11	0,04 - 0,03

Illustration 33 – Impact du déficit d'alimentation de la nappe par infiltration pour différents contextes climatiques

Dans un contexte d'**année sèche**, les volumes d'eau infiltrés pour l'ensemble des surfaces concernées par les sites d'extraction en 2010 (343.6 ha), sont évalués selon les coefficients culturaux considérés entre **0,15 et 0,40 millions de m<sup>3</sup>** d'eau. En ne considérant que les plans d'eau situés dans le département de l'Ariège, l'infiltration est alors évaluée entre 0,11 et 0,29 millions de m<sup>3</sup> d'eau.

Pour une **année moyenne**, l'infiltration est évaluée selon les coefficients culturaux considérés entre **0,30 et 0,95 millions de m<sup>3</sup>** d'eau, soit une recharge en année moyenne 60% supérieure à une année sèche.

En **année humide** (excédent pluviométrique, à l'image de 1996, cas exceptionnel ou de 2002), les volumes d'eau infiltrés sont estimés entre **0,88 et 1,69 millions de m<sup>3</sup>**

**d'eau**, soit une recharge en année humide environ 65% supérieure à une année moyenne (+81% par rapport une année sèche).

Du fait de la création des gravières sur ces terrains, ces valeurs sont à considérer comme un déficit 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.

#### **4.2.4. 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 19 % de l'assolement des terres cultivées sur le secteur d'étude. Ainsi en 2008, environ 8300 hectares étaient 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 m<sup>3</sup> d'eau par hectare, soit des besoins en eau pour cet usage estimés en 2008 à environ 12,4 millions de m<sup>3</sup> à l'échelle de la zone d'étude.

Dans l'hypothèse où sur les 343,6 hectares de terrains occupés en 2008 par des gravières, 19 % (65 ha) étaient initialement destinés à la culture du maïs, environ 0,1 millions de m<sup>3</sup> (98 000 m<sup>3</sup>) d'eau auraient alors été nécessaires à l'irrigation de ces surfaces.

Toutefois, dans la configuration actuelle de la plaine, seule une partie de ce volume aurait été prélevé à la nappe. En effet, dans la zone d'étude, 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. De ce fait, ces données ne seront donc pas incluses dans le bilan global.

#### **4.2.5. 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 synthétisé par l'équation suivante :

$$(P-E) + \text{Prelev. Exp.} + \text{Def. Recharge} = \text{Impact Global}$$

avec :

P-E : impact de l'évaporation quantifié au niveau des gravières en millions de m<sup>3</sup>/an ;

Prelev. Exp. : prélèvements s'opérant au cours de l'exploitation en millions de m<sup>3</sup>/an ;

Def. Recharge : déficit de recharge de la nappe liée à la substitution des sols par des plans d'eau en millions de m<sup>3</sup>/an ;

Impact Global : Impact global de la création de plans d'eau sur la nappe alluviale en millions de m<sup>3</sup>.

Le tableau de l'illustration 34 présente les chiffres relatifs à l'ensemble des phénomènes impactant la nappe alluviale de l'Ariège, sachant que le déficit d'alimentation de la nappe par infiltration a été considéré pour les deux configurations comprenant celle d'un sol nu ( $k_c = 0,5$ ) et celle d'un sol cultivé ( $k_c = 1,2$ ). L'ensemble de ces phénomènes intervenant au droit des gravières permet d'évaluer l'impact (déficit) sur la nappe, 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 2006, cet impact représente un **manque pour la nappe compris entre 3,1 et 2,9 millions de m<sup>3</sup> d'eau** selon le contexte privilégié.

	Années		
	Humide	Moyenne	Sèche
<i>Impact de l'évaporation (P-E) au niveau des gravières (Mm<sup>3</sup>/an)</i>	0,18	1,37	2,28
<i>Débit fictif induit par le retrait de matériaux des gravières (Mm<sup>3</sup>/an)*</i>	0,45		
<i>Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm<sup>3</sup>/an)</i>	1,69 – 0,88	0,95 - 0,30	0,40 - 0,15
<i>Impact global des gravières sur la nappe (Mm<sup>3</sup>/an)</i>	<b>2,32 - 1,51</b>	<b>2,77 - 2,12</b>	<b>3,13 - 2,88</b>

Illustration 34 - Estimation de l'impact des gravières sur la nappe alluviale de l'Ariège  
\* Mm<sup>3</sup>/an sur 20 ans

En considérant une **année moyenne** et pour des surfaces en eau identiques à 2010, cet impact s'amointrit tout en restant conséquent, avec un déficit pour la nappe évalué entre **2,8 et 2,1 millions de m<sup>3</sup> d'eau**.

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

Le système alluvial de l'Ariège et de l'Hers Vif a fait l'objet d'une modélisation mathématique dont les résultats permettent de détailler les différentes composantes intervenant dans le bilan hydrologique de la nappe. Ces données ont permis d'estimer la ressource renouvelable ou le **flux d'écoulement moyen annuel à environ 53 millions de m<sup>3</sup>** (estimation établie pour la période de calage comprise entre 2000 et 2007).

La ressource non renouvelable de l'aquifère peut être approchée par le calcul :

$$\text{Réserve aquifère} = \text{volume saturé} \times \text{coefficient d'emmagasinement}$$

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

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement et d'épaisseur saturée moyenne sont issues des résultats du calage du modèle. L'illustration 35 détaille les ordres de grandeur pris en considération pour le calcul de la réserve aquifère moyenne (le stock ou ressource non renouvelable) du système alluvial de l'Ariège.

Superficie de la nappe (km <sup>2</sup> )	Epaisseur saturée moyenne (m)	Volume saturé moyen (Mm <sup>3</sup> )	Emmagasinement moyen (%)	Réserve aquifère (Mm <sup>3</sup> )
410	5,0	2050	10	205

*Illustration 35 - Estimation des réserves en eau du système aquifère*

La réserve en eau souterraine de la zone d'étude est ainsi estimée à 205 millions de m<sup>3</sup>. Le déficit en eau, dû aux gravières, évalué entre 3,1 et 2,9 millions de m<sup>3</sup> en année sèche et entre 2,3 et 1,5 millions de m<sup>3</sup> en année humide (tableau de l'illustration 34 au § 4.2.5), ce qui représente entre 1,5% et 0,7% par an du volume général de la nappe selon le contexte climatique et les conditions culturales. En considérant la ressource renouvelable annuelle moyenne estimée à environ 53 millions de m<sup>3</sup>, le déficit représenterait alors entre 6% et 3% de la ressource renouvelable.

### **4.3. ESTIMATION DE L'IMPACT DE L'EXTENSION FUTURE DES GRAVIERES EXISTANTES SUR LA RESSOURCE ALLUVIALE**

#### **4.3.1. Cartographie des futurs plans d'eau**

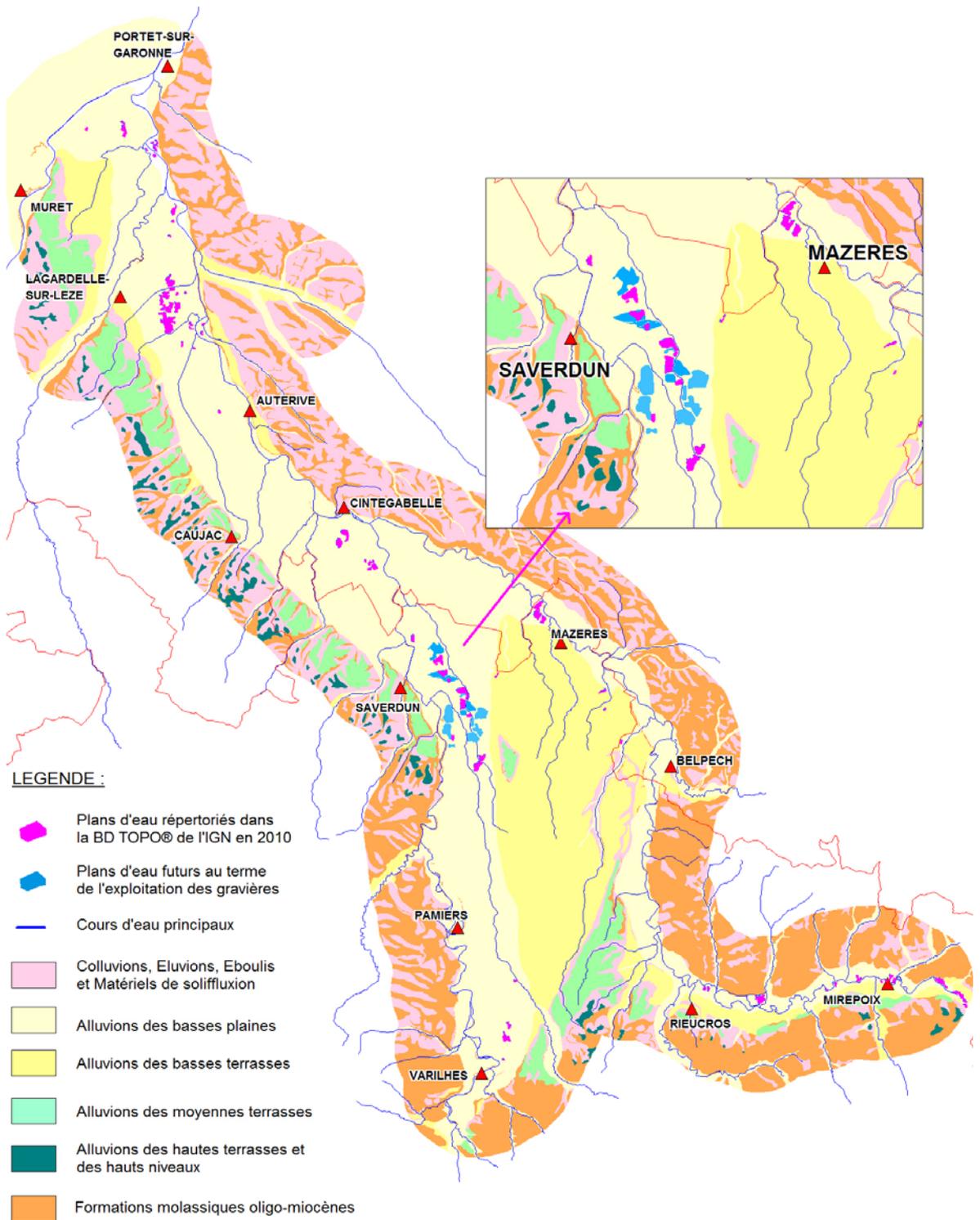
La cartographie des futurs plans d'eau a uniquement été effectuée pour les gravières actuellement autorisées implantées dans le département de l'Ariège, à partir des différents documents fournis par la DREAL Midi-Pyrénées. En effet, les études d'impact réalisées présentent les plans de phasage prévus et caractérisent le site dans sa configuration finale au terme de l'exploitation.

La **superficie totale des futurs plans d'eau** dans la plaine alluviale de l'Ariège et de l'Hers dans le département de l'Ariège est ainsi estimée à **445,8 ha** (ou 4,458 km<sup>2</sup>). En comparaison des 179,0 ha cartographiés en 2010 en Ariège, cela représente une **augmentation de 60%** des surfaces en eau (+ 266,8 ha). L'illustration 36 présente la répartition de ces futurs plans d'eau à l'échelle de la plaine. En considérant les surfaces en eau actuelle de la partie nord située en Haute-Garonne (31), les surfaces en eau totales sont alors estimées à 610,4 ha (ou 6,104 km<sup>2</sup>).

Ces extensions futures sont concentrées sur un secteur particulier de la plaine situé sur les communes de Saverdun et de Montaut (09) et proviennent de l'exploitation de 4 gravières différentes.

#### **4.3.2. Evaluation de l'impact des futurs plans d'eau sur la ressource en eaux souterraines**

La même démarche décrite en détail dans le chapitre précédent est reprise ici pour évaluer l'impact des surfaces en eau futures, générées au terme de l'exploitation des gravières actuellement autorisées, sur la ressource alluviale.



*Illustration 36 – Répartition au sein de la plaine des extensions finales des plans d'eau issus des gravières actuellement autorisées en Ariège*

Les mêmes données climatiques que celles décrites précédemment (chroniques de 1995 à 2011 des précipitations et de l'évaporation des stations de Cugnaux et de Montaut) ont été employées pour évaluer les volumes d'eau évaporés sur les extensions futures des plans d'eau. Le tableau de l'illustration 37 indique les volumes d'eau évaporés sur les 445,8 ha de surfaces en eau implantées dans le département de l'Ariège en fonction des différents contextes climatiques. Cette information est également donnée en considérant l'ensemble des plans d'eau présents à l'échelle de la plaine (610,4 ha).

	Années		
	Humide	Moyenne	Sèche
Volume d'eau évaporé sur l'ensemble des surfaces en eau du département de l'Ariège (445,8 ha) (Mm3)	-0.18	1.56	2.81
Volume d'eau évaporé sur l'ensemble des surfaces en eau de la plaine (610,4 ha) (Mm3)	0.07	2.31	3.96

Illustration 37 - Impact de l'évaporation au niveau des extensions futures des plans d'eau de la plaine alluviale de l'Ariège selon le contexte climatique

En considérant un contexte climatique en **année moyenne**, une **augmentation de 60%** des volumes évaporés (estimés à environ 1,5 Mm<sup>3</sup>) est observée en lien avec l'extension des surfaces en eau dans le département de l'Ariège.

Le déficit en eau généré par le phénomène d'appel d'eau lors de l'extraction des matériaux pour les gravières en activité n'est pas pris en compte ici, dans un contexte d'évaluation de l'impact dans la configuration finale des sites au terme de l'exploitation.

Les mêmes types de calcul décrit précédemment (Illustration 38) ont été menés pour estimer le déficit de volumes d'eau infiltrés occasionné par la présence des futurs plans d'eau, sachant que les extensions de surface en eau concernent uniquement la partie sud de la zone.

	Années		
	Humide	Moyenne	Sèche
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau de l'ensemble de la plaine Kc = 0,5 (sols nus)	3,28 - 3,22	1,76 - 1,70	0,85 - 0,79
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau de l'ensemble de la plaine Kc = 1,2 (sols cultivés)	1,87 - 1,77	0,59 - 0,46	0,34 - 0,31
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau du département de l'Ariège Kc = 0,5 (sols nus)	2,65 - 2,61	1,35 - 1,31	0,74 - 0,69
Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm <sup>3</sup> /an) Surface en eau du département de l'Ariège Kc = 1,2 (sols cultivés)	1,52 - 1,48	0,33 - 0,23	0,28 - 0,26

Illustration 38 – Impact du déficit d'alimentation de la nappe par infiltration au niveau des extensions futures des plans d'eau de la plaine alluviale de l'Ariège selon le contexte climatique

L'ensemble de ces phénomènes (Illustration 39) impactant la nappe alluviale de l'Ariège permet d'évaluer le déficit total pour la nappe, généré par l'extension future des plans d'eau au terme de l'exploitation des gravières existantes. Ainsi dans un contexte d'**année moyenne**, cet impact représente un **manque pour la nappe de compris entre 4,1 et 2,8 millions de m<sup>3</sup> d'eau**, soit une augmentation des déficits compris entre 32% et 23,5% par rapport à l'extension actuelle des surfaces en eau.

	Années		
	Humide	Moyenne	Sèche
<i>Volume évaporé (P-E) au niveau des gravières (Mm<sup>3</sup>/an)</i>	0,07	2,31	3,96
<i>Débit fictif induit par le retrait de matériaux des gravières (Mm<sup>3</sup>/an)*</i>	/		
<i>Déficit d'alimentation de la nappe par infiltration (Mm<sup>3</sup>/an)</i>	3,28 – 1,77	1,76 – 0,46	0,85 – 0,31
<i>Impact global des gravières sur la nappe (Mm<sup>3</sup>/an)</i>	<b>3,35 – 1,84</b>	<b>4,07 – 2,77</b>	<b>4,81 – 4,27</b>

Illustration 39 - Estimation de l'impact des extensions futures des plans d'eau sur la nappe alluviale de l'Ariège

## 5. Intégration des gravières dans le modèle hydrodynamique

### 5.1. INTRODUCTION

Le modèle hydrodynamique de la nappe alluviale de l'Ariège a été repris et actualisé afin d'intégrer les plans d'eau générés par l'extraction de granulats. L'échelle de travail correspond au système alluvial dans son ensemble soit environ 410 km<sup>2</sup>. A partir de la cartographie des plans d'eau issue de la BD TOPO 2010, 3,44 km<sup>2</sup> de surfaces en eau ont été cartographiées dans la zone d'étude ; ce qui représente 0,8% de la superficie totale (Illustration 9).

L'objectif est d'évaluer les modifications occasionnées par les gravières sur l'hydrodynamisme de l'ensemble de la nappe, à savoir :

- les fluctuations des niveaux,
- la direction des écoulements,
- et les échanges avec les cours d'eau.

Pour cela, les gravières ayant une superficie supérieure à la taille de la maille (200 m<sup>2</sup>) ainsi que celles situées dans des zones à enjeu ont été implémentées dans le modèle et un nouveau calage du modèle hydrodynamique a été réalisé.

Il est d'ores et déjà important de noter qu'au vu de la taille de la maille du modèle initial, il est difficile d'apprécier les impacts localisés des gravières.

### 5.2. RAPPEL DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU MODELE

Le modèle hydrodynamique réalisé répondait au besoin des services de la Police de l'Eau de disposer d'un outil de gestion des systèmes aquifères alluviaux permettant d'optimiser les prélèvements en nappe en fonction de l'état de la ressource. Les principales caractéristiques de ce modèle sont rappelées ici :

- les caractéristiques géométriques et dimensionnelles correspondent quasiment à l'extension de la nappe alluviale, en dehors de la fine bande sud-est qui n'est pas modélisée. Sa superficie est de 410 km<sup>2</sup> environ.
- le logiciel de modélisation utilisé est le logiciel MARTHE™, développé par le BRGM et spécifiquement dédié à la simulation des écoulements souterrains. MARTHE™ est mis en œuvre depuis une trentaine d'années pour les opérations de modélisation couplant hydrodynamique, transport, thermique et chimie. Ce logiciel utilise une méthode de calcul par différences finies, associée à un maillage rectangulaire de type « écossais ».

- le domaine modélisé est inscrit dans une grille à mailles carrées constituée de 215 colonnes et 250 lignes, chacune de 250 m de côté, en cohérence avec les autres modèles de gestion des aquifères alluviaux de Midi-Pyrénées. Le nombre de mailles couvrant la zone modélisée est de 6525.
- les simulations sont menées en régime transitoire sur une durée de 7 ans de 2000 à 2007. Le pas de calcul est mensuel.
- l'aquifère alluvial est représenté par les alluvions récentes de l'Ariège et de l'Hers Vif, les formations fluviatiles quaternaires de la basse plaine et celles des basses terrasses. Initialement défini comme un modèle monocouche, celui-ci a été finalement construit en considérant deux couches. La seconde correspond aux formations molassiques tertiaires peu perméables dans leur ensemble. L'intérêt de cette modification de géométrie est de permettre au modèle une meilleure prise en compte (problème de dénoyage) des mailles correspondant aux affleurements (ou sub-affleurement) de ces terrains molassiques au sein de la plaine.
- le réservoir est délimité verticalement par le substratum des alluvions et par la surface topographique ; la surface piézométrique évoluant entre ces deux limites. Latéralement, il est limité à l'ouest par l'Ariège et à l'est par l'Hers Vif.
- la modélisation prend en compte les échanges entre la nappe et les rivières.

Le principe de l'élaboration du modèle est résumé sur l'illustration 40.

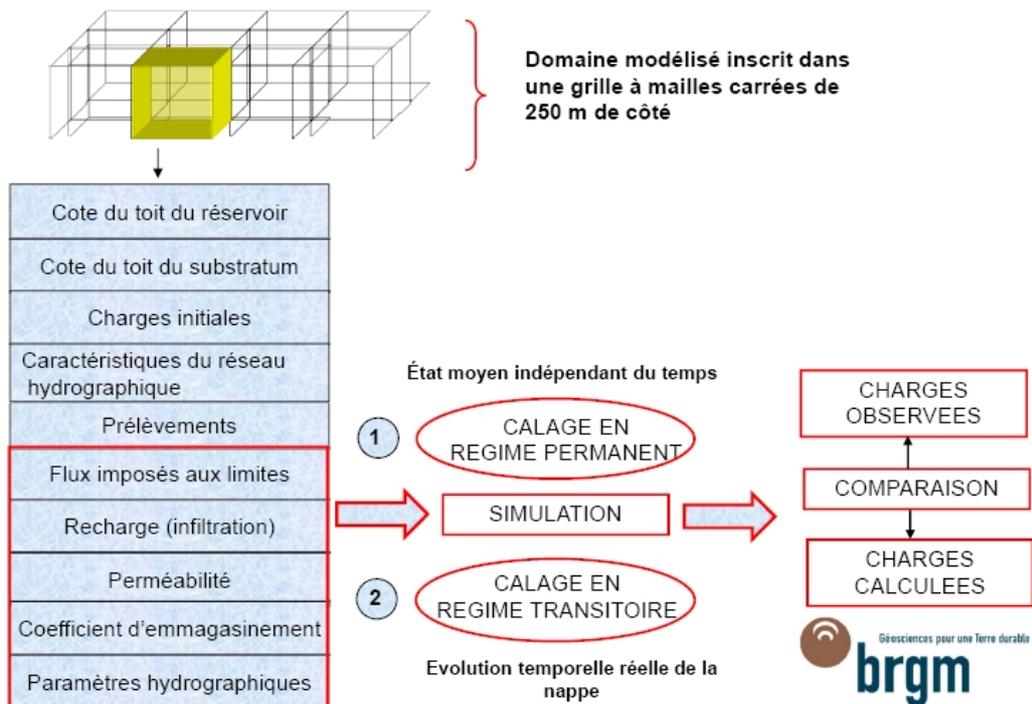


Illustration 40 - Principe d'élaboration d'un modèle

### 5.3. HYPOTHESE D'INTEGRATION DES GRAVIERES DANS LE MODELE

#### 5.3.1. Localisation géographique et sélection des gravières modélisées

Les gravières ayant une superficie supérieure à la taille de la maille (200 m<sup>2</sup>) ainsi que celles situées dans des zones à enjeu ont été implémentées dans le modèle. L'illustration 41 présente les gravières introduites dans le modèle.

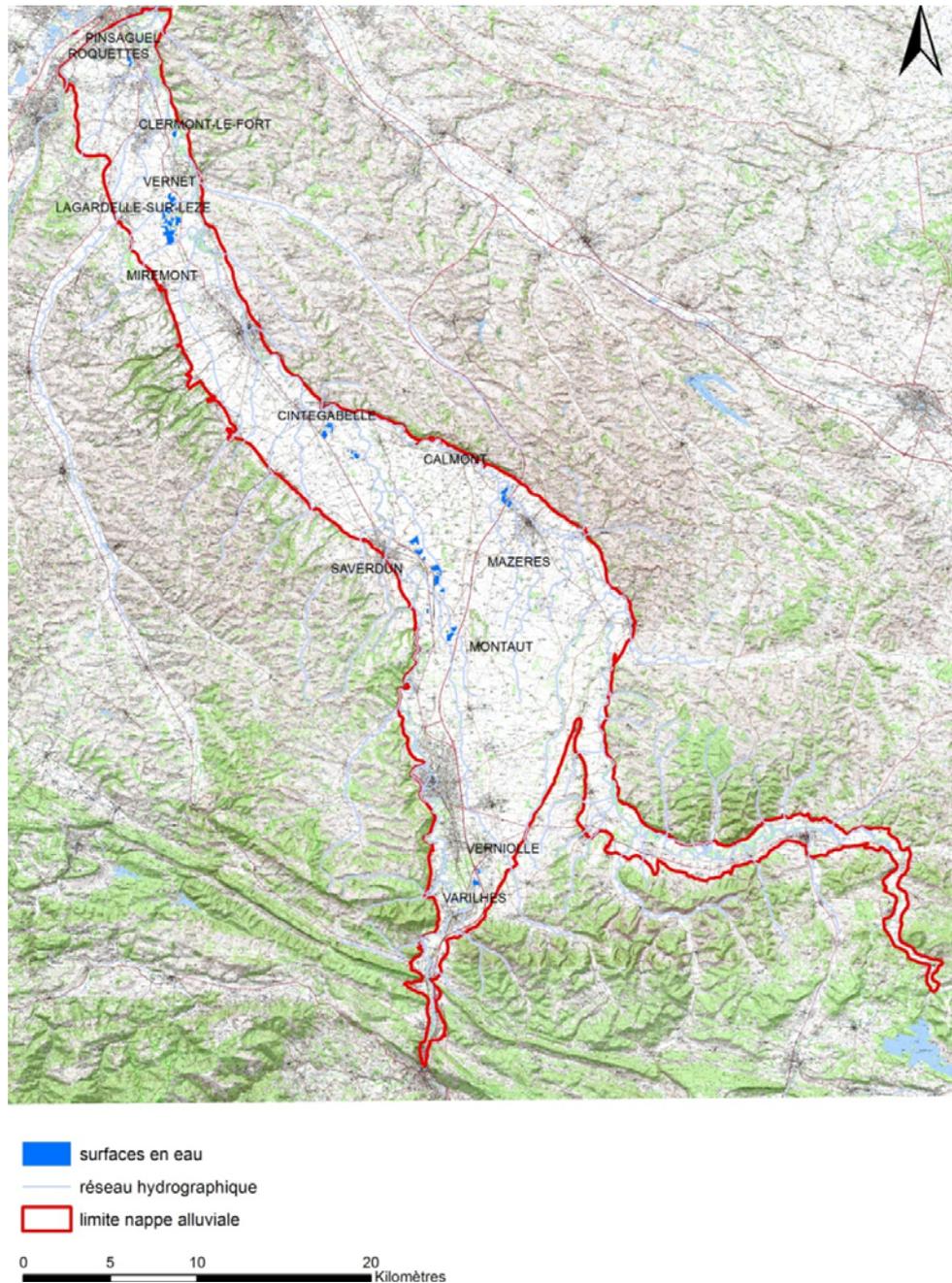


Illustration 41 - Gravières intégrées au modèle hydrodynamique

### 5.3.2. Création de gigognes dans le modèle hydrodynamique

Le maillage du modèle a été affiné par l'introduction de gigognes dans quatre zones distinctes (Illustration 42) à savoir celles :

- des communes du Vernet et de Miremont où une quinzaine de plans d'eau sont présents, un rectangle de 1 km de large et 2,6 km de long est maillé plus finement avec une grille carrée régulière de pas égal à 25 m.
- des communes de Cintegabelle et de Mazères contenant chacune environ 4 plans d'eau, 2 gigognes de dimensions 1x1,25 km<sup>2</sup> et 1x1 km<sup>2</sup> et de mailles de pas égal à 50 m couvrent ces zones.
- des communes de Saverdun et de Montaut où un grand maillage gigogne de dimension 3,5x5km<sup>2</sup> de mailles de pas égal à 50 m a été intégré au modèle.

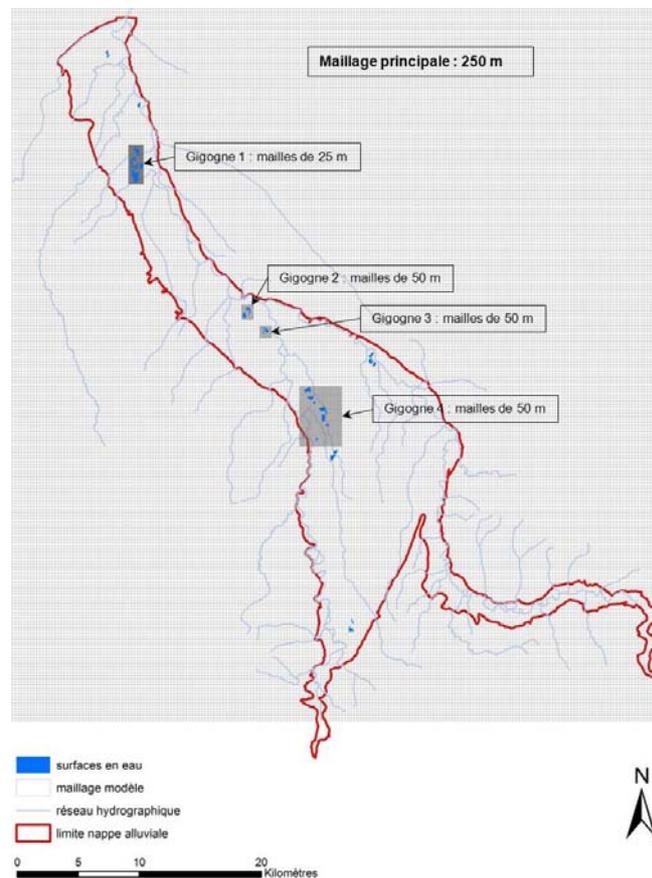


Illustration 42 - Modification du maillage principale par l'introduction de gigognes dans les zones de gravières

### 5.3.3. Représentation numérique des gravières

Une gravière est considérée comme une zone équipotentielle c'est-à-dire ayant une charge quasiment uniforme.

Il est supposé que les gravières sont creusées jusqu'au substratum et qu'il n'y a pas d'écoulement sous la gravière ; ce qui est vérifiable sur le terrain.

Au sein du modèle, deux paramètres hydrodynamiques (la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement) sont modifiés. Ainsi au niveau des mailles du modèle contenant des gravières :

- la perméabilité est 100 fois plus forte que la perméabilité du sol où a été creusée la gravière,
- le coefficient d'emmagasinement est de 100%.

#### **5.4. ACTUALISATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE : CALAGE SUR LA PERIODE 2000 – 2010**

Le modèle est calé sur la période 2000-2010 (11 années) au pas de temps mensuel en considérant les gravières en place durant toute la période. Les charges initiales sont issues du régime permanent du modèle initial (sans les gravières).

##### **5.4.1. Actualisation des données**

###### ***Données de prélèvements***

Les données de prélèvement en eaux souterraines et de surface à usage AEP et industriel proviennent de l'Agence de l'Eau Adour Garonne fournissant les volumes prélevés pour chaque année et chaque usage. Les données de prélèvement d'origine agricole sont issues des fichiers de la DDT de l'Ariège et de la Haute-Garonne. La disponibilité des données commence en 2000 pour l'AEP et l'industrie et en 1996 pour l'irrigation. La localisation des prélèvements est indiquée sur l'illustration 43.

L'illustration 44 montre la répartition des prélèvements en fonction de leur usage par année. A partir de 2003, les prélèvements industriels ont significativement diminués par opposition aux prélèvements agricoles. Les prélèvements AEP sont relativement constants jusqu'en 2007 et présentent des volumes moins importants à partir de 2008.

Au cours du régime transitoire, les prélèvements sont introduits dans les mailles et les couches correspondant aux captages recensés. La répartition des prélèvements a été effectuée avec les hypothèses suivantes :

- Irrigation : elle est supposée être concentrée sur 5 mois, de mai à septembre, avec un maximum au mois de juillet. La répartition adoptée est la suivante :
  - 10% du total en mai
  - 20% du total en juin
  - 35% du total en juillet
  - 25% du total en août
  - 10% du total en septembre
- AEP et industrie : la répartition des prélèvements est supposée homogène toute l'année.

Le fait d'actualiser les prélèvements occasionne également une modification du calage obtenu précédemment. Les principales évolutions ont été observées sur les ouvrages suivants :

- le point d'eau 10356X0101/F sur la commune de Calmont,
- le point d'eau 10356X0043/F sur la commune de Saverdun,
- le piézomètre 10357X0021/F sur la commune de Montaut.

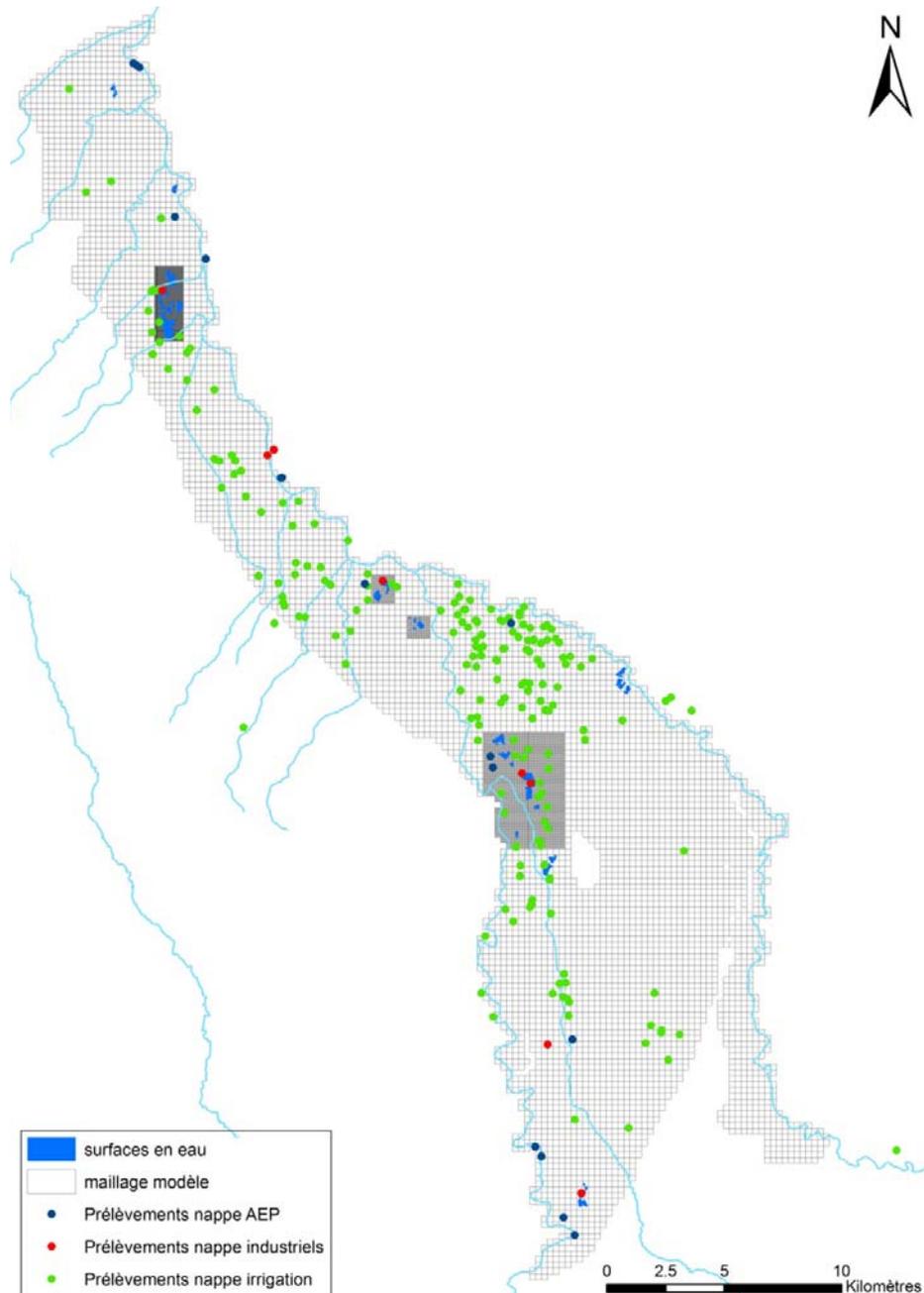


Illustration 43 - Localisation des prélèvements par type d'usage

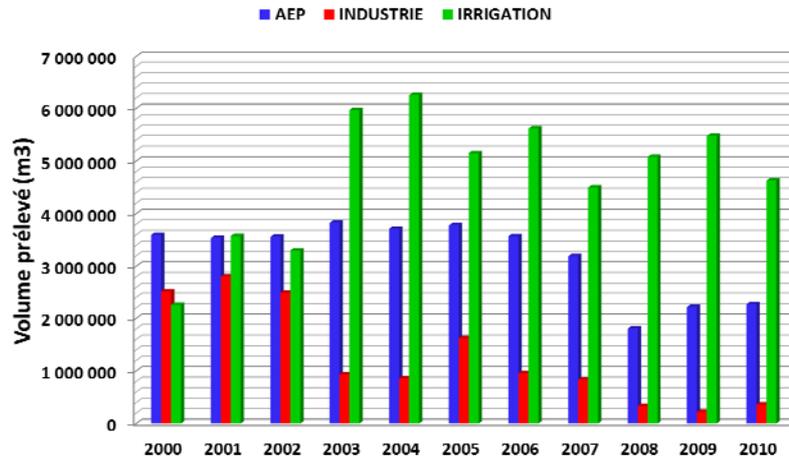


Illustration 44 - Volumes annuels prélevés par type d'usage

### Données de contrôle

Les données de contrôle du modèle sont de deux types : des niveaux piézométriques et des débits au droit des stations hydrométriques.

Les chroniques piézométriques proviennent des ouvrages suivants :

- 4 ouvrages appartenant au réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines au titre de la DCE situés sur les communes d'Auterive, de Montaut, de Verniolle et de Mazères
- 19 points d'eau suivis entre 2004 et 2008 pour les besoins du modèle ; l'absence d'actualisation de ces données a introduit des lacunes au niveau des contrôles entraînant des difficultés de calage du modèle.

Les données de débit sont issues de trois stations hydrométriques : l'Ariège à Auterive, l'Hers Vif à Calmont et la Lèze à Labarthe-sur-Lèze.

### 5.4.2. Modification des débits amonts

Des débits amont variables en fonction du temps sont injectés au niveau de 12 cours d'eau dont la source se situe à l'extérieur du modèle (Illustration 45). Ils sont soit estimés, soit calculés à partir des données des stations de mesure situées en amont ou en aval affectées d'un coefficient correspond au rapport des surfaces des bassins versants :

- pour le Hautmont, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 15 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,
- pour le Rieu, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 30 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,
- pour la Lantine, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 40 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,
- pour la Mouillonne, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 190 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,
- pour le Saint-Colomb, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 25 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,
- pour le Calers, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 200 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,
- pour la Jade, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 130 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,

- pour le Crieu, 0 m<sup>3</sup>/h en étiage et 35 m<sup>3</sup>/h le reste de l'année,
- pour la Garonne, des débits variables calculés à partir de la station de Portet-sur-Garonne,
- pour la Lèze, des débits variables calculés à partir de la station de Lézat-sur-Lèze,
- pour l'Ariège, des débits variables calculés à partir de la station de Foix,
- pour l'Hers Vif, des débits variables calculés à partir de la station de Roumengoux.



Illustration 45 - Localisation des débits amont au sein du réseau hydrographique modélisé

### 5.4.3. Calage du modèle en régime transitoire

#### ***Evaluation de la recharge (infiltration)***

Une actualisation de la recharge a été faite sur les différentes zones de sol du modèle délimitées en fonction du potentiel d'infiltration des terrains.

Le modèle GARDENIA, dont le schéma de fonctionnement est présenté sur l'illustration 46, permet le calcul de la pluie efficace.

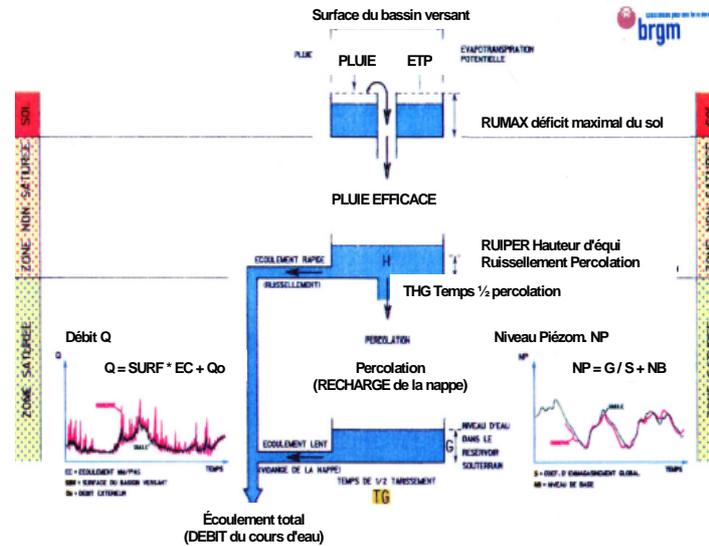


Illustration 46 - Principe de fonctionnement du modèle Gardenia

Afin d'actualiser les calculs, les données climatiques (pluie, évapotranspiration et évaporation) au pas de temps décadaire ont été recueillies auprès de Météo France aux stations de Cugnaux, Montaut et Pamiers (Illustration 47).



Illustration 47 - Données utilisées pour le calage pluie-niveau GARDENIA

Un calage pluie-niveau piézométrique a été effectué pour chaque zone de recharge et la comparaison des niveaux simulés aux niveaux observés figure sur l'illustration 48.

D'autre part, une harmonisation a été faite afin de pouvoir effectuer ce calcul avec GARDENIA pour toutes les zones (notamment pour la zone au sud du modèle dont le calcul différenciait des autres zones dans le modèle initial). Pour le passage de la pluie efficace à l'infiltration et au ruissellement, des coefficients ont été utilisés pour chaque zone de sol (Illustration 48).

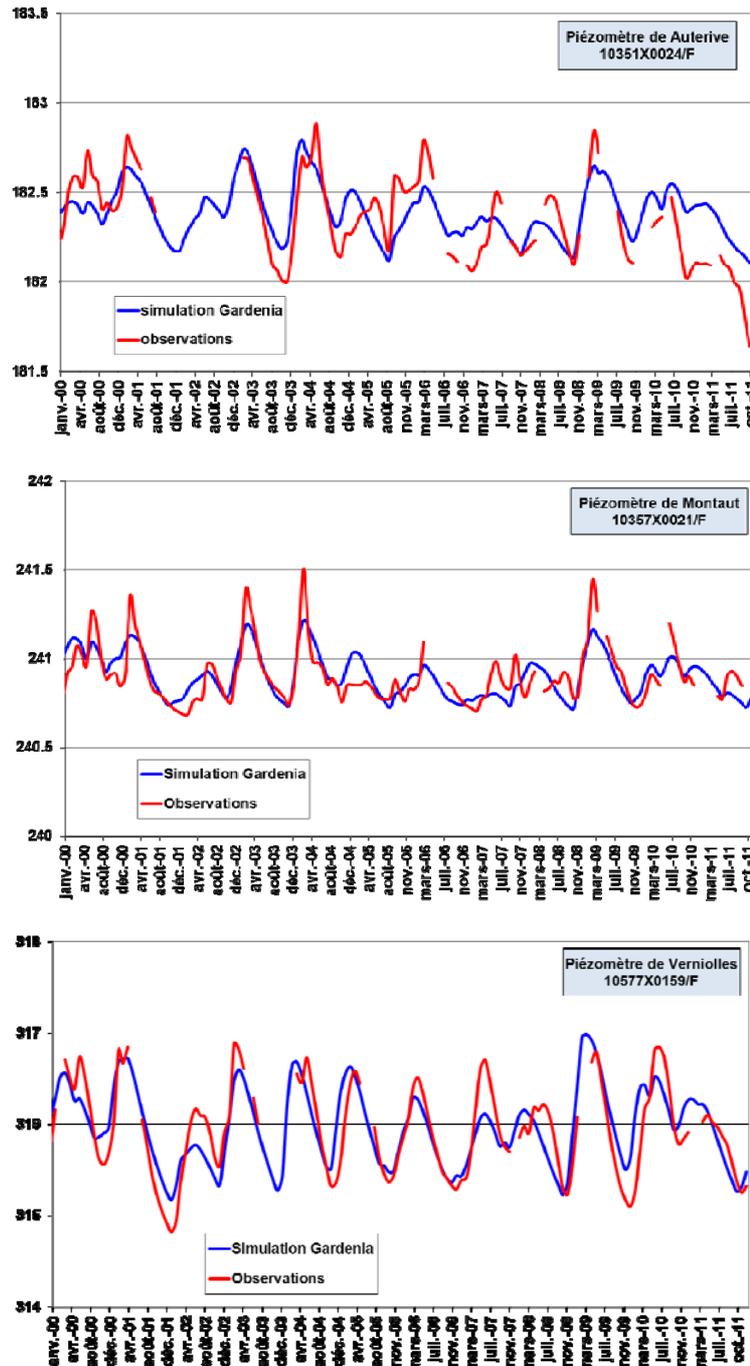


Illustration 48 - Calage des modèles Gardenia pour le calcul de la pluie efficace

La nouvelle zonation concernant les paramètres de recharge est présentée sur l'illustration 49, elle comprend les modifications suivantes :

- création de nouvelles zones de sol au niveau des gravières (zone 9) ; à l'intérieur desquelles le ruissellement est nul et l'infiltration est égale à la pluie moins l'évaporation ( $I=P-EV$ ) ;
- augmentation de la pluie efficace à l'intérieur de certaines zones afin d'améliorer le calage du modèle (zone 10 augmentation de 30%) ;
- modification des coefficients d'infiltration (zone 10 et 11).

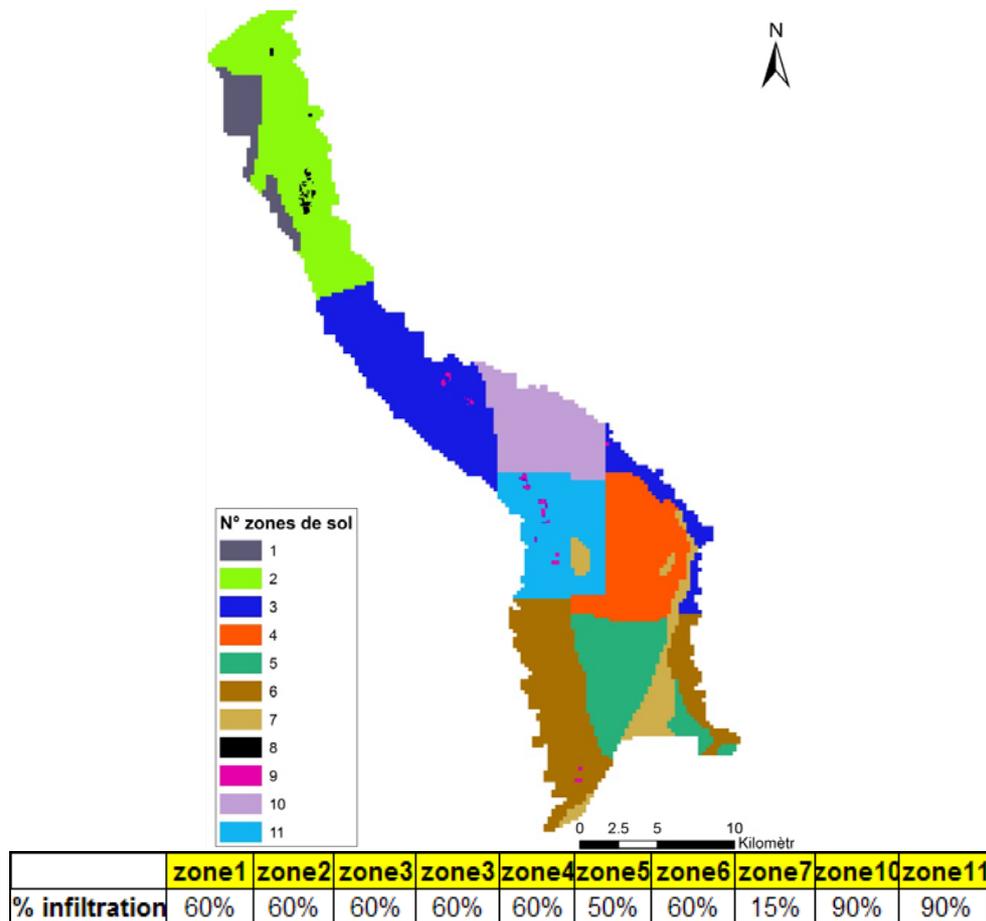


Illustration 49 - Zones de sol du modèle

### Paramètres hydrodynamiques

Le calage se fait par l'ajustement de deux paramètres hydrodynamiques dans les mailles du modèle :

- la perméabilité dont les valeurs se distribuent entre  $10^{-6}$  et  $5.10^{-2}$  m/s en dehors des gravières et entre  $8.10^{-5}$  et 0,15 m/s au niveau des gravières ;
- et le coefficient d'emmagasinement compris entre 1% et 30% en dehors de gravières et 100% au niveau des gravières.

### **Comparaison avec les chroniques observées**

Le calage réalisé est globalement satisfaisant.

Les points d'eau dont le suivi est assuré entre 2004 et 2008 permettent de donner un ordre de grandeur du niveau de la nappe sans indiquer les tendances et les cycles interannuels. Les quatre piézomètres du réseau RCS permettent de mieux contraindre le système. Les chroniques piézométriques sont bien reproduites dans l'ensemble. Au piézomètre de Montaut, le niveau est surestimé entre 2001 et 2006 mais bien simulés les dernières années. Cela peut s'expliquer par certaines incertitudes au niveau des données de prélèvement autour de la zone du piézomètre.

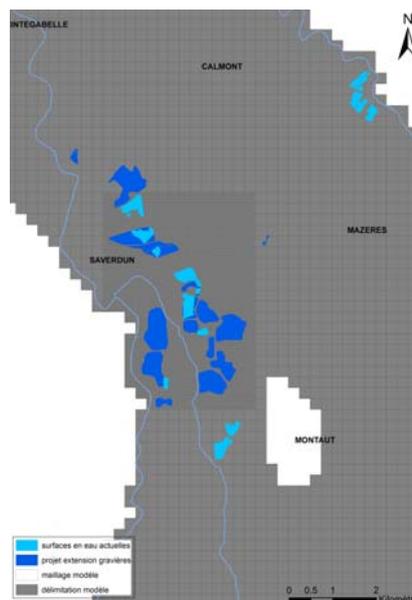
Les débits simulés dépendent en grande partie du débit injecté en amont. Viennent s'ajouter aux débits amont, la contribution de la nappe, surtout en période d'étiage et le ruissellement sur le bassin versant. Le modèle n'intègre pas en totalité la superficie des bassins versants au droit des stations d'Auterive et de Calmont. La part du débit manquant au débit simulé est particulièrement marquée en période de crue.

#### **5.4.4. Intégration des surfaces en eau dans le modèle : exploitation du modèle**

Afin d'étudier l'impact de l'intégration des surfaces en eau dans le modèle, trois modes de comparaison ont été adoptés sur la même période de simulation (2000-2010) :

- une simulation réalisée sans les gravières,
- une simulation en intégrant les surfaces en eau actuelles, soit 3,44 km<sup>2</sup>,
- et une simulation réalisée en intégrant les projets d'extension – soit 6,10 km<sup>2</sup>.

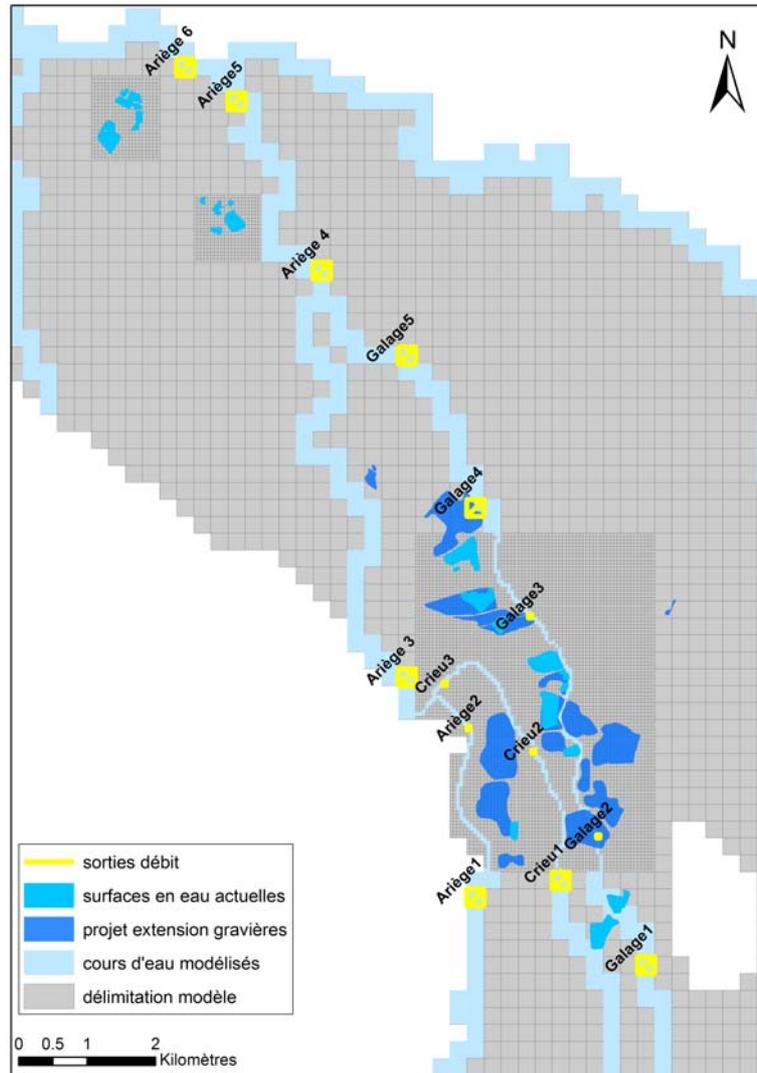
L'illustration 50 présente le schéma d'extension des surfaces en eau au terme de la durée d'exploitation issue des plans de phasage (documents transmis par la DREAL).



*Illustration 50 - Projet d'extension des surfaces en eau*

### **Variations des débits des cours d'eau**

Des mailles d'observation de débits le long de trois cours d'eau : la Galage, le Crieu et l'Ariège situés à proximité de la zone d'extension des gravières ont été rajoutées afin d'analyser l'impact au niveau du débit de ces rivières (Illustration 51).



*Illustration 51 - Mailles d'observation des débits en amont et en aval de la zone d'extension des gravières*

#### **• Impact sur la Galage**

L'illustration 52 comparant les débits sur la Galage montre qu'aucun impact n'est noté sur les débits observés en amont des gravières. Par contre, un amoindrissement des pics de débits en hautes eaux est observé en aval suite à l'intégration des gravières dans le modèle.

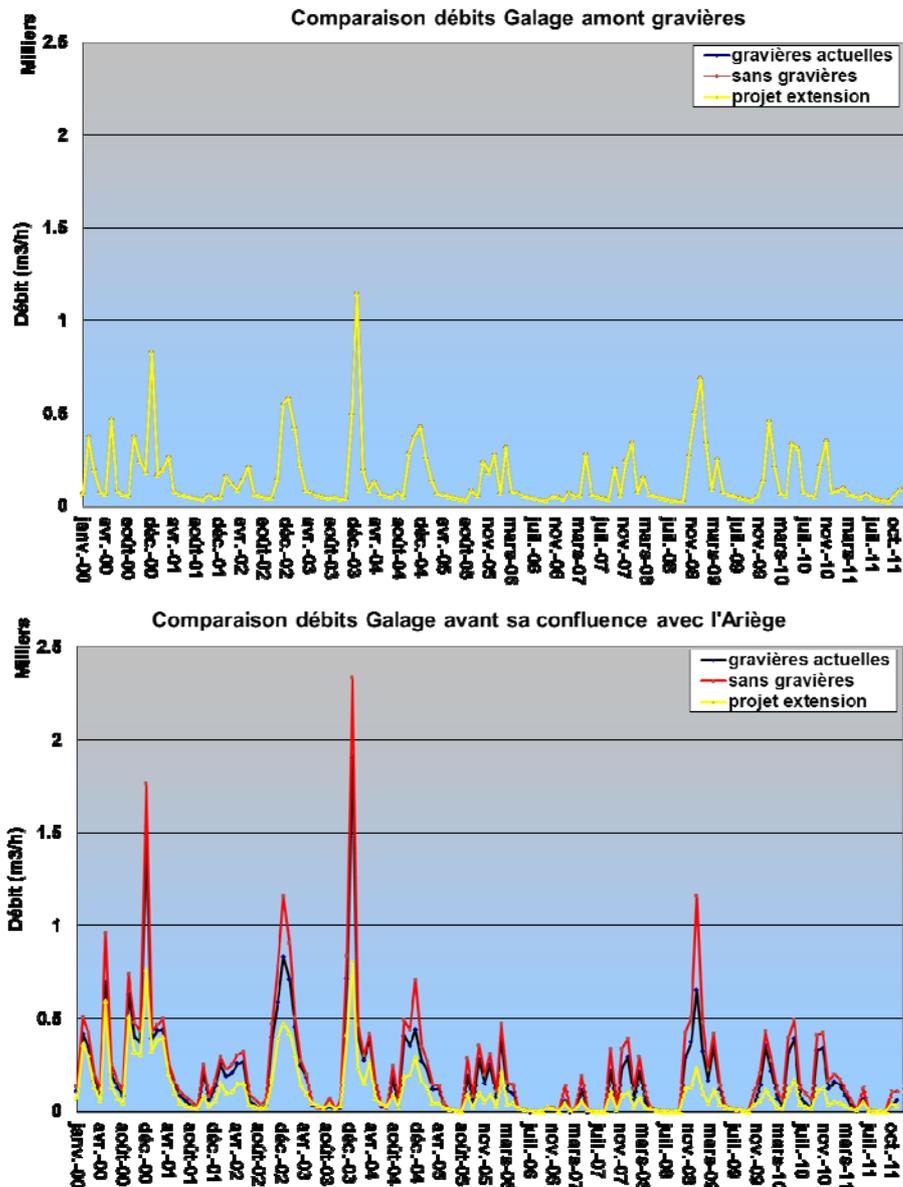


Illustration 52 - Impact de l'implantation des gravières sur la Galage

#### • Impact sur le Crieu

L'illustration 53 comparant les débits sur le Crieu ne montre aucun impact sur les débits observés en amont des gravières et une très légère diminution des débits en aval des gravières suite au projet d'extension.

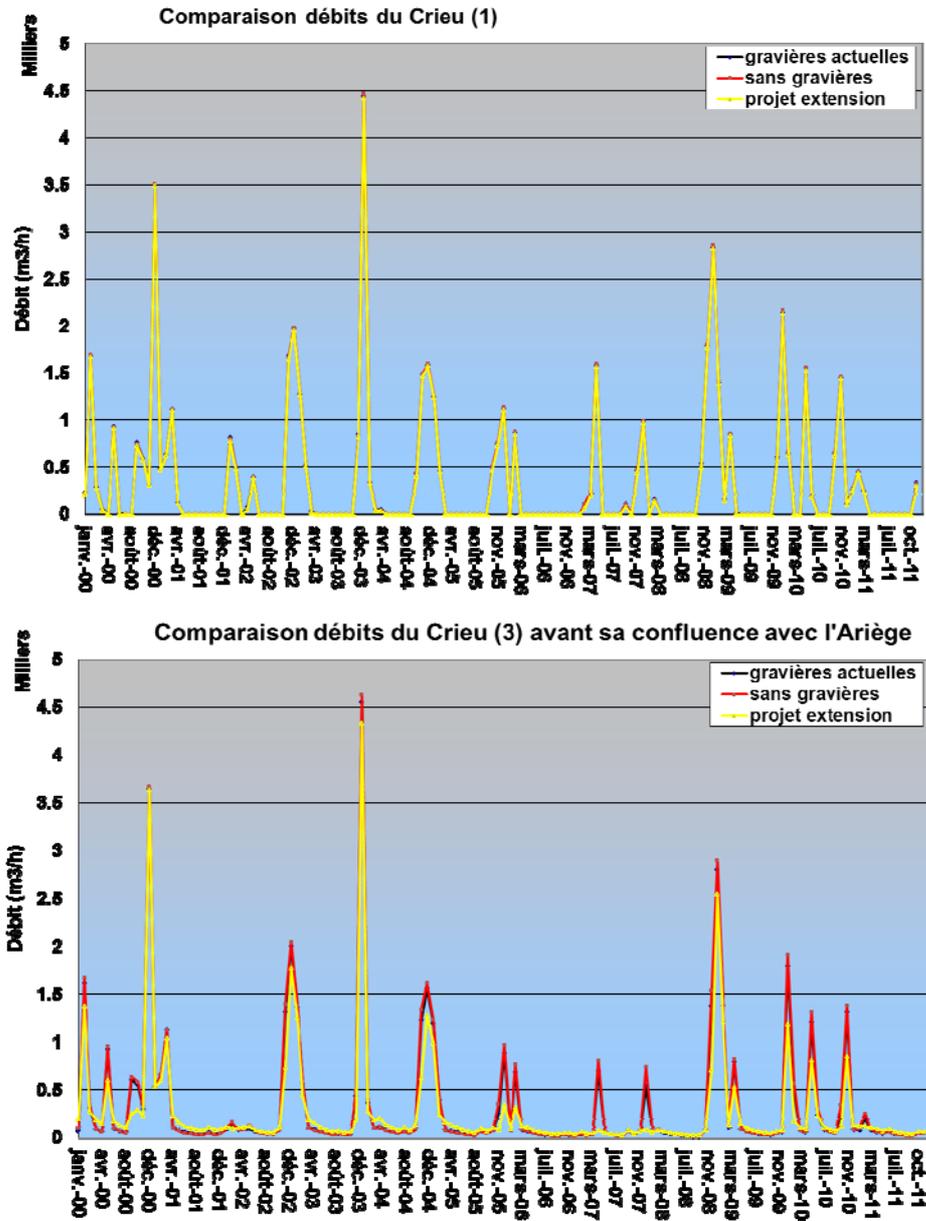


Illustration 53 - Impact de l'implantation des gravières sur le Crieu

• Impact sur l'Ariège

L'illustration 54 comparant les débits sur l'Ariège ne montre aucun impact sur les débits observé en amont ou en aval des gravières.

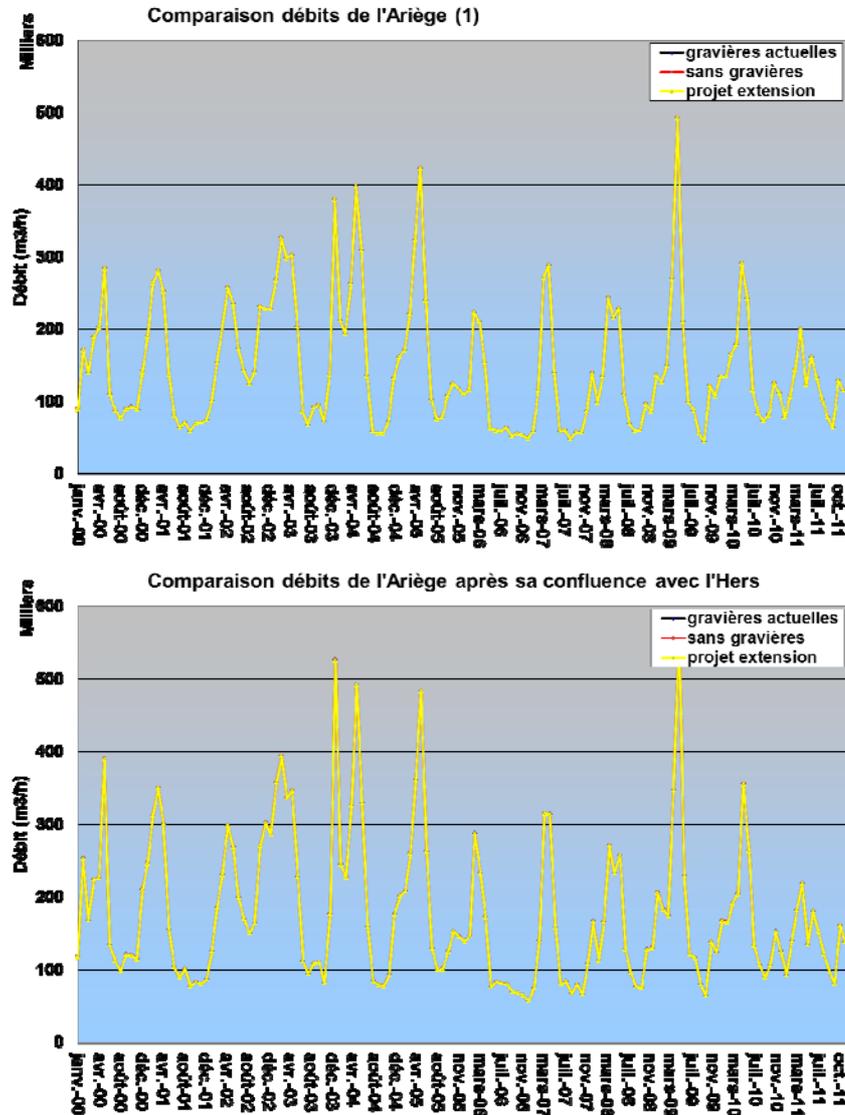


Illustration 54 - Impact de l'implantation des gravières sur l'Ariège

### Fluctuations des niveaux piézométriques

Douze piézomètres fictifs (PF) ont été introduits dans le modèle permettant l'observation des niveaux piézométriques à proximité de la zone d'extension des gravières (Illustration 55).

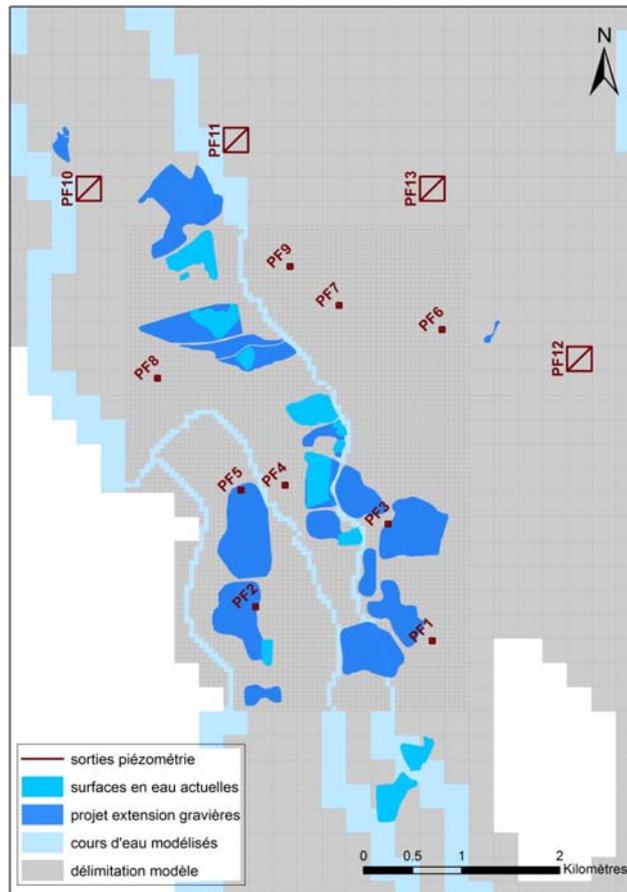


Illustration 55 - Mailles d'observation des niveaux piézométriques autour de la zone d'extension des gravières

Sur l'illustration 56 plusieurs degrés d'impact sont donc observés à l'intérieur du périmètre rapproché des gravières en intégrant les projets d'extension :

- au sud de la zone (points PF1, PF2 et PF3), un abaissement des niveaux d'environ 2 mètres est observé ;
- dans les zones en aval des gravières, un léger basculement de la nappe est constaté, d'environ 0,5 m pour le point PF8 et 1 m pour le point PF5 ;
- impact négligeable en certains points du périmètre rapproché des gravières (PF4, PF10, PF11, PF12, PF13).

### **Comparaison des isopièzes au niveau de la zone d'intérêt**

Les figures suivantes comparent l'évolution du tracé des isopièzes simulés en août 2005 : sans les gravières, avec celles cartographiées en 2010 (Illustration 56), puis avec l'extension future (Illustration 57). Dans le premier cas, aucun impact n'est observé sur les écoulements de la nappe en intégrant les surfaces en eau cartographiées en 2010. Dans le second cas, une légère modification des écoulements de la nappe apparaît en intégrant les extensions futures des surfaces en eau.

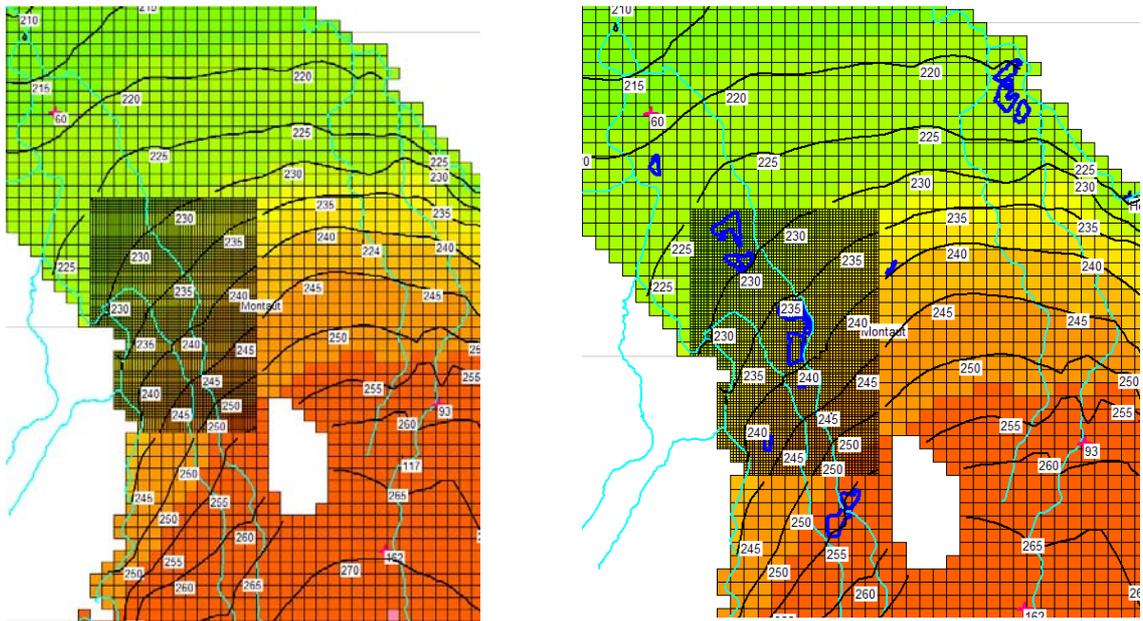


Illustration 56 - Isopièzes simulées à août 2005 sans les gravières (à gauche) et avec l'extension 2010 des gravières

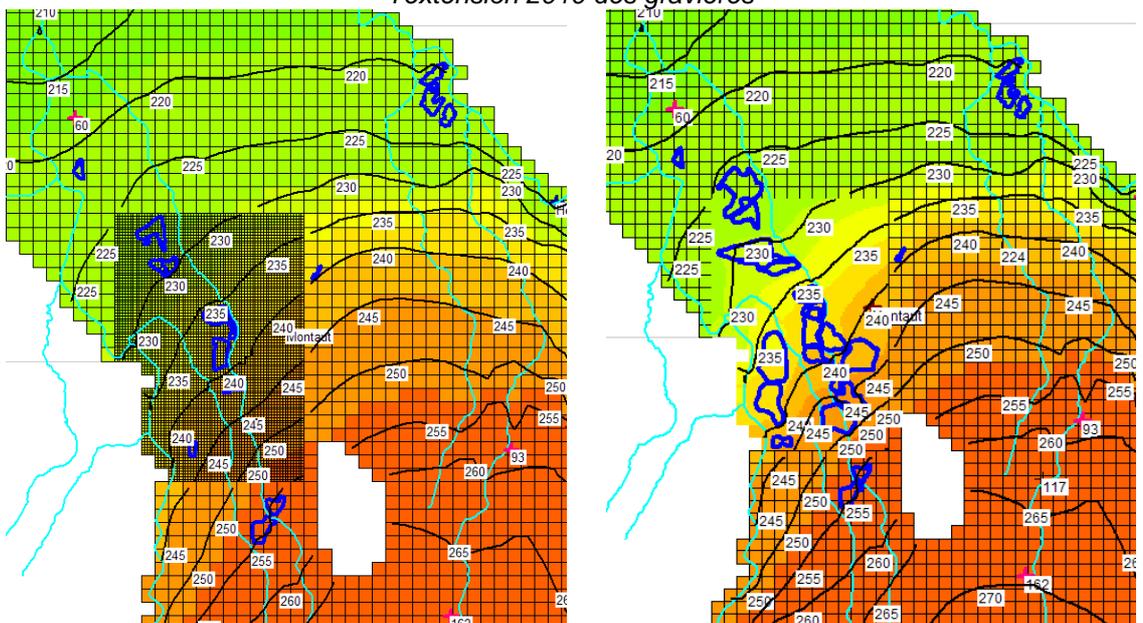


Illustration 57 - Isopièzes simulées à août 2005 avec l'extension 2010 des gravières et avec l'extension future des gravières

### Comparaison de bilans

Afin d'analyser l'impact de l'implémentation des gravières, des bilans en termes d'infiltration et d'échange nappe-rivière ont été dressés soit à l'échelle du modèle soit au niveau de la zone d'intérêt uniquement.

• **Déficit d'infiltration**

La comparaison des lames d'eau infiltrées sans les gravières, avec les plans d'eau cartographiés en 2010 et avec l'extension future est présentée pour l'ensemble du modèle sur l'illustration 58 et pour la zone d'intérêt de Saverdun sur l'illustration 59.

A l'échelle du modèle, un léger impact est observé en termes d'infiltration en relation avec l'introduction des gravières. A l'échelle de la zone des gravières de Saverdun, l'impact est plus marqué en particulier en intégrant les extensions futures. Les variations les plus fortes apparaissent au cours des années 2006 et 2011 avec une baisse de l'infiltration de 70%.

année	infiltration		
	modèle	modèle sans gravières	modèle projet extension
2000	77 201 038	77 395 817	76 696 382
2001	50 773 835	50 818 575	50 593 463
2002	80 430 609	80 563 209	80 052 847
2003	72 313 656	72 339 478	72 072 803
2004	96 892 016	96 905 173	96 579 616
2005	43 007 578	43 074 092	42 818 762
2006	39 400 814	39 485 521	39 209 740
2007	55 253 505	55 299 537	55 045 864
2008	63 557 445	63 547 416	63 400 007
2009	58 493 165	58 425 142	58 412 080
2010	77 350 217	77 548 329	76 962 135
2011	29 838 688	29 879 782	29 714 653

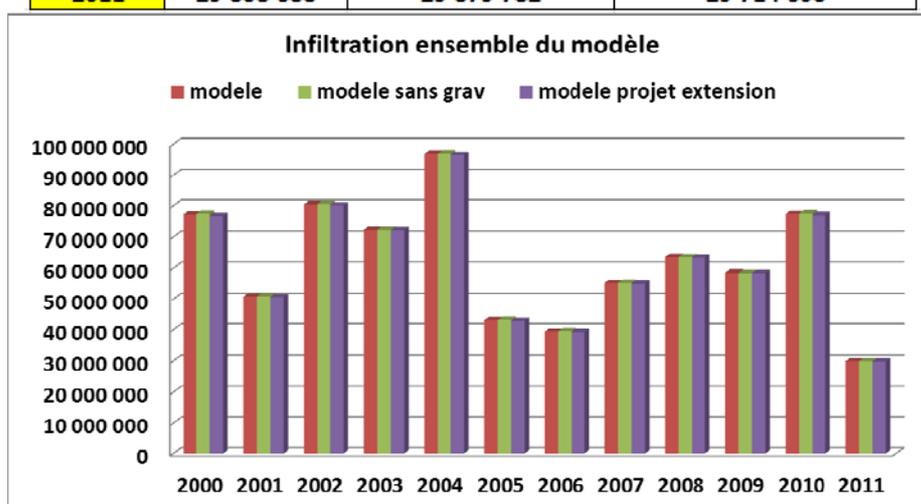


Illustration 58 - Comparaison des lames d'eau infiltrées (en m<sup>3</sup>) sur l'ensemble du modèle sans les gravières, avec l'extension 2010 des gravières et avec l'extension future des gravières

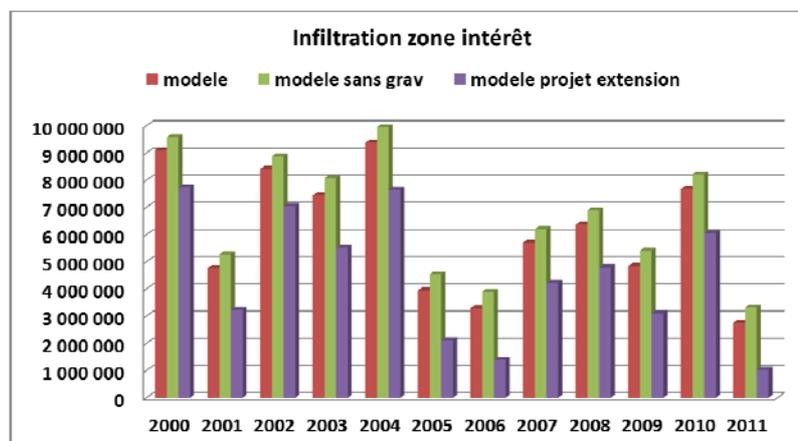


Illustration 59 - Comparaison des lames d'eau infiltrées (en m<sup>3</sup>) sur la zone d'intérêt sans les gravières, avec l'extension 2010 des gravières et avec l'extension future des gravières

Par ailleurs, les volumes d'eau évaporés calculés par le modèle dans la configuration future des gravières (en moyenne estimés à 2,9 Mm<sup>3</sup>/an) doublent par rapport à leur configuration actuelle (en moyenne estimés à 1,5 Mm<sup>3</sup>/an) (Illustration 60). Les résultats du modèle pour le calcul de l'évaporation sont cohérents avec ceux issus du calcul analytique (Illustration 34 et Illustration 39 pour rappel estimant en moyenne à 1,4 et 2,3 Mm<sup>3</sup> respectivement les volumes évaporés dans les configurations actuelles et futures).

année	évaporation	
	configuration actuelle	projet extension
2000	-1 059 430	-1 941 010
2001	-1 298 101	-2 656 167
2002	-971 710	-1 961 334
2003	-1 879 802	-3 569 086
2004	-1 484 092	-2 891 407
2005	-1 676 677	-3 321 944
2006	-1 735 889	-3 444 328
2007	-1 392 653	-2 675 131
2008	-1 412 353	-2 825 974
2009	-1 687 687	-3 339 614
2010	-1 325 432	-2 551 283
2011	-1 737 931	-3 342 946

Illustration 60 – Calcul de l'évaporation en m<sup>3</sup> sur l'ensemble du modèle selon sa configuration actuelle ou selon les projets d'extension des gravières.

L'illustration 61 présente le calcul du déficit d'infiltration et de l'impact global des gravières sur la nappe pour les configurations actuelles et futures.

Le modèle calcule en moyenne un impact global des gravières sur la nappe à 1,5 Mm<sup>3</sup>/an dans la configuration actuelle et 3,2 Mm<sup>3</sup>/an dans la configuration future.

La comparaison des résultats de la modélisation et ceux de l'étude analytique (Illustration 34 et Illustration 39) montre une cohérence entre les deux calculs en prenant en compte les données de déficit d'alimentation de la nappe pour les sols cultivés (différence de résultats pour ce paramètre de l'ordre de 0,2 Mm<sup>3</sup>), soit un impact global moyen des gravières sur la nappe estimé ainsi à 2,1 Mm<sup>3</sup> pour la configuration actuelle et 2,8 Mm<sup>3</sup> avec les extensions futures.

Le bilan réalisé prenant en compte la configuration d'un sol nu s'écarte nettement des résultats obtenus par la modélisation. En effet, ce contexte est plus pénalisant en terme de déficit d'infiltration (différence de résultats pour ce paramètre de l'ordre de 0,9 Mm<sup>3</sup>), l'impact global estimé est alors évalué autour de 2,8 Mm<sup>3</sup> pour la configuration actuelle et de 4,1 Mm<sup>3</sup> avec les extensions futures. Le déficit d'infiltration d'un sol nu est multiplié environ par dix par rapport à celui obtenu pour un sol cultivé.

Par ailleurs, les valeurs de l'impact global des gravières obtenues à partir de l'étude analytique sont supérieures à celles appréciées à partir du modèle hydrodynamique principalement en raison de la prise en compte dans le calcul analytique de l'appel d'eau généré lors de l'extraction des matériaux (estimé en moyenne à 0,45 Mm<sup>3</sup>), non quantifié par le modèle.

année	configuration actuelle		année	projet extension	
	déficit d'infiltration sur la nappe (Mm3/an)	impact global des gravières sur la nappe (Mm3/an)		déficit d'infiltration sur la nappe (Mm3/an)	impact global des futures gravières sur la nappe (Mm3)
2000	0.19	1.25	2000	0.70	2.64
2001	0.04	1.34	2001	0.23	2.88
2002	0.13	1.10	2002	0.51	2.47
2003	0.03	1.91	2003	0.27	3.84
2004	0.01	1.50	2004	0.33	3.22
2005	0.07	1.74	2005	0.26	3.58
2006	0.08	1.82	2006	0.28	3.72
2007	0.05	1.44	2007	0.25	2.93
2008	-0.01	1.40	2008	0.15	2.97
2009	-0.07	1.62	2009	0.01	3.35
2010	0.20	1.52	2010	0.59	3.14
2011	0.04	1.78	2011	0.17	3.51
<b>moyenne</b>	<b>0.06</b>	<b>1.54</b>	<b>moyenne</b>	<b>0.31</b>	<b>3.19</b>

Illustration 61 – Calcul du déficit d'infiltration et de l'impact global des gravières sur la nappe d'après le modèle hydrodynamique pour les configurations actuelles et futures.

• **Echanges nappe-rivière**

Les valeurs d'échange nappe-rivière ont été comparées pour les trois configurations citées précédemment. A l'échelle du modèle, une très légère diminution des apports de la nappe aux cours d'eau est observée en intégrant les gravières actuelles et futures (Illustration 62). Cependant, à l'échelle de la zone des gravières de Saverdun, un impact non négligeable relatif aux échanges nappe-rivière est observé. Avec le projet d'extension future des gravières, les volumes d'eau apportés par la nappe aux rivières sont en moyenne réduits de moitié et pour les années 2007 et 2010 les relations sont même inversées.

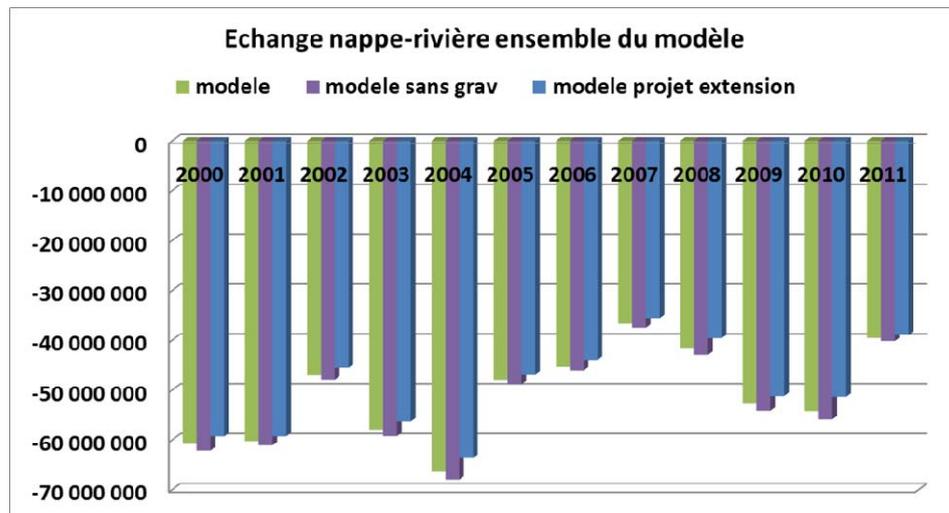


Illustration 62 - Echanges nappe rivière (en m³) sur l'ensemble du modèle sans gravière, avec les gravières actuelles et avec l'extension future

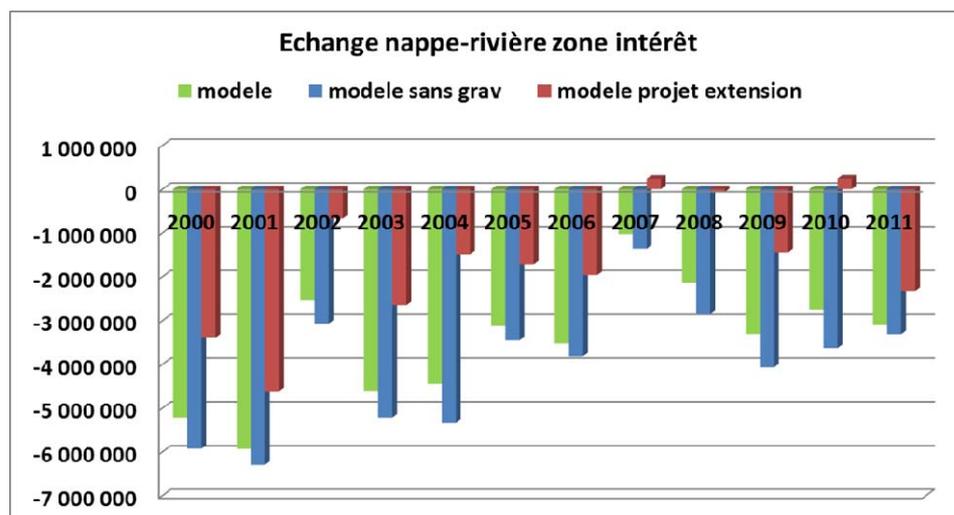


Illustration 63 - Echanges nappe rivière (en m³) au niveau de la zone d'intérêt de Saverdun sans gravière, avec les gravières actuelles et avec l'extension future

## 6. Conclusions

### 6.1. CONCLUSION SUR L'ESTIMATION QUANTITATIVE DE L'IMPACT DES GRAVIERES DANS LA NAPPE ALLUVIALE

La cartographie des surfaces en eau du secteur d'étude est issue des données vectorielles 2010 de la BD TOPO<sup>®</sup> de l'IGN. A partir de ces données, il a été possible d'évaluer la surface totale des plans d'eau liée à l'extraction de granulat ou assimilé dans la plaine alluviale de l'Ariège.

La surface totale estimée est ainsi de 343,6 ha (3,44 km<sup>2</sup>) dont 179,0 ha (1,79 km<sup>2</sup>) uniquement sur l'emprise de la plaine située dans le département de l'Ariège.

Deux stades ont été considérés pour évaluer l'impact de ces gravières sur la nappe alluviale 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 des différents phénomènes considérés (évaporation, mobilisation de l'eau lors de l'exploitation et déficit d'alimentation) 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 2006, cet impact n'est pas négligeable, il représente un manque pour la nappe estimé entre 3,1 et 2,9 millions de m<sup>3</sup> d'eau selon le contexte d'occupation du sol privilégié (sols cultivés ou sols nus).

En considérant une année moyenne et pour des surfaces en eau identiques à 2010, cet impact s'amointrit tout en restant conséquent, avec un déficit pour la nappe évalué entre 2,80 et 2,10 millions de mètre cube (selon le contexte d'occupations des sols).

Ces chiffres sont à mettre en parallèle avec la ressource renouvelable annuellement moyenne estimée à environ 53 millions de m<sup>3</sup> ou à la proportion relative que cela représente par rapport à la réserve aquifère totale estimée à 205 Mm<sup>3</sup>. Ainsi, le déficit représenterait entre 6% et 3% de la ressource renouvelable et entre 1,5% et 0,7% par an du volume général de la nappe selon le contexte climatique et les conditions culturelles privilégiées.

En tenant compte des extensions maximales futures des plans d'eau de l'ensemble des carrières autorisées à ce jour en Ariège (superficie estimée à environ 446 ha), ce déficit en eau pour la nappe pourra atteindre entre 4,1 et 2,8 Mm<sup>3</sup> dans un contexte d'année moyenne, soit une augmentation des déficits compris entre 32% et 23,5% par rapport à l'extension actuelle des surfaces en eau.

Dans un second temps, il a été 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....) par l'intégration des gravières dans le modèle hydrodynamique de la nappe alluviale de l'Ariège.

Des écarts de résultats, en moyenne de l'ordre de 0,6 Mm<sup>3</sup>, sont observés selon les approches mises en œuvre (calculs analytiques ou utilisation du modèle hydrodynamique) en fonction des hypothèses formulées et des échelles de temps considérées pour l'établissement des bilans. Ainsi, les valeurs de l'impact global des gravières obtenues à partir de l'étude analytique sont supérieures à celles appréciées à partir du modèle hydrodynamique principalement en raison de la prise en compte dans le calcul analytique de l'appel d'eau généré lors de l'extraction des matériaux (estimé en moyenne à 0,45 Mm<sup>3</sup>), non quantifié par le modèle.

## **6.2. CONCLUSIONS SUR LA MODIFICATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE PAR L'INTRODUCTION DES GRAVIERES ACTUELLES OU SELON LE PLAN D'EXTENSION FUTURE**

Les impacts observés suite à l'introduction des gravières actuelles et futures dans le modèle hydrodynamique sont distincts selon le type de variable pris en compte ou du bilan considéré.

Concernant l'évolution des débits des cours d'eau, aucun impact n'est observé sur l'Ariège. Cependant, une légère diminution des débits des cours d'eau secondaires (le Crieu, la Galage) apparaît en aval de la zone à forte concentration de gravières (secteur Saverdun et Montaut).

En considérant les impacts sur l'hydrodynamisme de la nappe dans le secteur de Saverdun, il apparaît que cet impact des gravières est à différencier selon la zone considérée :

- dans le périmètre immédiat des gravières, un abaissement des niveaux de quelques dizaines de centimètres est observé en considérant l'extension actuelle des plans d'eau et de l'ordre de 2 mètres avec les extensions futures,
- dans le pourtour proche de cette zone (environ 1 à 1,5 km), l'abaissement devient quasi négligeable avec les extensions actuelles et de quelques dizaines de cm avec les extensions futures,
- en s'écartant de quelques kilomètres (environ 2 à 3 km) de cette zone, l'impact devient négligeable aussi bien avec les gravières actuelles que futures.

Enfin, au droit de ce secteur, les apports de la nappe aux cours d'eau diminuent de manière relativement importante. Pour les rivières secondaires, le sens de ces échanges peut même s'inverser si l'extension des gravières est importante. Néanmoins, en dehors de cette zone à enjeu, les apports de la nappe aux cours d'eau diminuent très légèrement.

Il est important de noter que l'échelle de travail utilisé pour cette étude à savoir celle du système alluvial dans son ensemble ne permet pas d'appréhender les phénomènes localisés, en particulier au droit des gravières. Par ailleurs, le manque de données de contrôle sur le territoire concerné par l'extension des gravières est préjudiciable à la précision des impacts observés dans le modèle.

Au terme de ce projet, il apparaît donc nécessaire de créer un réseau de suivi quantitatif qui permettrait de disposer de données de référence pour évaluer l'impact des gravières actuelles et à venir avec établissement de cartes piézométriques (HE/BE) à l'échelle de la zone d'extension future des carrières et l'acquisition de chroniques de niveau d'eau sur des points de suivi sélectionnés en fonction des différents contextes (amont, aval, à proximité immédiate ou éloignée, etc.).



## Bibliographie

**Babot Y.**, (1986) – Impact des gravières sur le régime des eaux en plaine alluviale du Bassin Rhin-Meuse. BRGM/AFBRM. SGR/LOR N°86/46

**Berland J.M.**, (1998) – Impact sur l'environnement de l'extraction des granulats. Office International de l'Eau.

**Chere C.** (1993) - Impact des gravières sur l'environnement – Collecte des données juridiques, techniques et politiques. Synthèse bibliographique des connaissances. Agence de l'Eau Seine Normandie.

**Margat J., Roux J.C.**, (1986) – Interactions des impacts des aménagements et des exploitations sur les eaux de surface et les nappes souterraines. Note technique 83 ENV 003. Comm. 19<sup>ème</sup> jour. de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France

**Saplaïroles 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.

**M. Saplaïroles, 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.

**Saplaïroles M., Buscarlet E.** (2009) –Gestion des systèmes aquifères alluviaux dans le bassin Adour-Garonne - Modélisation de la nappe alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif – Année 3. BRGM/RP-57184-FR. Rapport final. 74 p.







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

**BRGM Midi-Pyrénées**  
3, rue Marie Curie  
BP 49  
31527 Ramonville Saint Agne Cedex - France  
Tél. : 05 62 24 14 50