





Université de Bourgogne, UFR SVTE, 6 boulevard Gabriel F-21000 Dijon Tél 03 80 39 63 56, Fax 03 80 39 63 56, e-mail : umr5561@u-bourgogne.fr

# EVALUATION DE L'IMPACT DES EXPLOITATIONS DE GRANULATS EN ZONE ALLUVIONNAIRE SUR LA RESSOURCE EN EAU

# CAS DES BASSINS VERSANTS DE LA TILLE, DE L'OUCHE ET DE LA VOUGE - COTE D'OR ASPECTS QUANTITATIFS

Philippe AMIOTTE SUCHET

Dijon, juin 2011



Pour citer ce rapport :	
Amiotte Suchet P. 2011. Evaluation de l'impact des exploitations de granulats en alluvionnaire sur la ressource en eau, cas des bassins versants de la Tille, de l'Ouche e Vouge (Côte d'Or), aspects quantitatifs. Rapport d'étude, UNICEM Bourgogne - Univer Bourgogne, 43 p.	et de la

# Sommaire

1		Intro	oduct	ion	1
2		Les	alluvi	ons quaternaire des bassins versants de la Vouge, de l'Ouche et de la Tille	3
	2.	1	Les l	bassins versants	3
		2.1.3	1	Le bassin versant de la Tille	4
		2.1.2	2	Le bassin versant de l'Ouche	5
		2.1.3	3	Le bassin Versant de la Vouge	5
	2.	2	Les a	alluvions quaternaires	5
3		L'ex	tracti	on de matériaux en zone alluvionnaire et la ressource en eau	7
	3.	1	Impa	act sur les nappes d'eau souterraines	7
		3.1.3	1	Impact sur les volumes d'eau	7
		3.1.2	2	Impact sur la circulation	7
	3.	2	Impa	act sur l'évaporation et la recharge de l'aquifère	8
4		Cart	ograp	ohie des gravières et de l'occupation du sol	13
	4.	1	Mét	hodologie	13
		4.1.	1	Bases de données cartographiques	13
		4.1.2	2	Outils et méthodes de cartographie	13
	4.	2	Résu	ıltats	15
		4.2.	1	Surface des gravières	15
		4.2.2	2	Comparaison avec les autres modes d'occupation du sol	16
5		Impa	act de	es gravières sur la ressource en eau	19
	5.	1	Mét	hodologie	19
	5.	2	Résu	ıltats	20
		5.2.2	1	Lames d'eau précipitées et évapotranspirées	20
		5.2.2	2	Impact sur les pluies efficaces	21
		5.2.3	3	Discussion	23
6		Con	clusic	ons	25
7		Rihli	ingrai	nhie	27

# Liste des figures

figure 1 : Le SDAGE du Bassin Rhône – Méditerranée 3
figure 2 : Localisation des bassins versants de la Vouge, l'Ouche et de la Tille (sources : IGN BD Alti pour l'altitude, IGN BD Carthage pour e réseau hydrographique, Dréal Bourgogne/BD Carthage et cette étude pour les limites de bassin versants)
figure 3 : influence de la présence d'une gravière sur les niveaux piézométriques de la nappe alluviale – cas de berges et de fond colmatés (BRGM, 2007)8
figure 4 : influence de la présence d'une gravière sur les niveaux piézométriques de la nappe alluviale – cas de berges et de fond non colmatés (BRGM, 2007)8
figure 5 : comparaison des processus d'évaporation pour une surface couverte par la végétation et pour une surface d'eau libre – ETR : évapotranspiration réelle ; ETP : évapotranspiration potentielle, P : précipitations ; RU : réserve utile du sol ; P <sub>eff</sub> : pluies efficaces, Fe : flux d'eau de nappe entrant ; Fs : flux d'eau de nappe sortant
figure 6 : exemple de cartographie en photo aérienne (BD Ortho de l'IGN, année 2006) de gravières anciennes (contours rouges) et de gravières en activité (contours verts) ; seul les surfaces en eau sont cartographiées
figure 7 : proportion des plans d'eau, gravières et étangs (en % de la surface des bassins versants) . 16
figure 8 : proportion (en % de la surface de gravière) des superficies de gravières anciennes et en activité sur les bassins de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge16
figure 9 : algorithme simplifié du calcul de l'ETR par la méthode du bilan hydrique19

# Liste des tableaux

tableau 1 : surfaces en hectares des plans d'eau sur les trois bassins versants étudiés
tableau 2 : correspondances entre les classes du Corine Land Cover et les catégories d'occupation du sol définies dans cette étude. La catégorie « plan d'eau » (code 512 de la nomenclature Corine Land Cover) n'apparaît pas dans le tableau ; elle est simplement remplacée par la cartographie beaucoup plus détaillée réalisée
tableau 3 : superficies (en hectares) et proportions (en % de la surface totale du bassin versant) des différents usages des sols sur les bassins de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge. Les catégories d'usage des sols sont définies dans le tableau 2
tableau 4 : bilan des lames d'eau précipitées et évapotranspirées annuellement (1991) sur la totalité des bassins versants, leur zones alluviales et leurs différents plans d'eau, calculés sur la base du modèle de bilan hydrique spatialisé 1km x 1km
tableau 5 : Evaluation de la modification des pluies efficaces (Peff = P – ETR) par la présence des plans d'eau (gravières + étangs) sur les bassins versants de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge pour l'année 1991. La première partie du tableau présente les lames d'eau évapotranspirées et précipitées. La seconde partie présente les résultats du calcul des pluies efficaces annuelles de 1991 pour les 3 situations décrites dans le texte. P : précipitations annuelles ; ETR : évapotranspiration réelle annuelle ; ETR <sub>0</sub> : évapotranspiration annuelle dans le cas où le plan d'eau est remplacé par l'usage le plus proche
tableau 6 : Impact différentiel des plans d'eau sur les précipitations efficaces de 1991 ( $\Delta P_{eff}$ : différences de pluies efficaces entre 2 simulations du tableau 5) pour les bassins versants de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge. S1, S2 S3 désignent la simulation 1, 2 et 3 respectivement

#### 1 Introduction

Les alluvions quaternaires des bassins versants avals de la Tille et de la Vouge, de l'Ouche dans une moindre mesure, constituent une réserve de granulats faisant l'objet d'une exploitation réglementée. Cette exploitation, lorsqu'elle a lieu dans les alluvions aquifères noyées par la nappe alluviale dont le niveau se situe à quelques mètres au maximum sous la surface du sol, conduit à créer des plans d'eau.

La création de tels plans d'eau est susceptible d'affecter le bilan quantitatif de la nappe alluviale qui est, la plupart du temps, exploitée pour d'autres usages comme l'irrigation ou l'adduction en eau potable. Des conflits d'usage peuvent alors naitre du manque d'information et de connaissance des impacts liés à l'extraction des granulats. En outre, les bassins de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge font tous les trois l'objet d'une attention particulière de la part des collectivités, confrontées à une demande en eau croissante pour cause d'expansion de l'agglomération dijonnaise dont le territoire recoupe les trois bassins versants. Des outils de gestion des bassins versants (SAGE, contrat de rivière) ont récemment été mis en place, ou le seront prochainement sur chacun des trois bassins qui font tous les trois l'objet d'un classement en zone de répartition des eaux (ZRE).

Dans ce contexte sensible vis-à-vis de la ressource en eau en Côte d'Or, les professionnels des carrières (UNICEM Bourgogne) ont commandité cette étude à l'Université de Bourgogne afin de déterminer de façon précise l'emprise des exploitations de granulats en zone alluvionnaire et d'en estimer l'impact sur la ressource en eau. Il s'agit plus particulièrement d'évaluer les modifications induites du bilan hydrologique à l'échelle des trois bassins versants.

Ce travail est divisé en deux parties principales. Dans un premier temps il s'agit de procéder à la cartographie et au recensement des gravières anciennes et en activité dans les bassins de la Tille de l'Ouche et de la Vouge, pour en évaluer l'emprise par rapport à d'autres modes d'usage des terres. Dans un second temps, un modèle spatialisé de bilan hydrique permet d'évaluer l'impact quantitatif des plans d'eau générés par les exploitations sur la ressource en eau.

Les résultats doivent permettre d'aider à la réflexion dans le cadre des prospectives en matière d'évolution de l'activité des exploitants de granulats en zone alluvionnaire.

# 2 Les alluvions quaternaire des bassins versants de la Vouge, de l'Ouche et de la Tille

#### 2.1 Les bassins versants

Les bassins versants de la Tille, de la Vouge et de l'Ouche font partie du Bassin Rhône et constituent les principaux affluents de rive droite de la Saône amont. Ils présentent tous les trois une partie amont drainant les plateaux calcaires de la Côte d'Or, où la forêt occupe encore une bonne part des surfaces, et une partie avale ou la densité de population est plus forte et l'agriculture plus présente. Enfin, les limites de l'agglomération dijonnaise recoupent celles des 3 bassins versants.

Pour l'Agence de l'Eau RMC, la gestion de l'eau constitue un enjeu fort sur ces trois cours d'eau dont la qualité reste très moyenne notamment dans leur partie avale. Ils font tous les trois l'objet d'une attention particulière. La Vouge fait l'objet d'un SAGE depuis 2005 et l'Ouche comme la Tille ont été identifiées dans le SDAGE 2010-2015 du bassin du Rhône comme territoires prioritaires pour l'élaboration d'un SAGE afin d'atteindre les objectifs de la Directive Cadre Eau d'ici 2015 (figure 1).

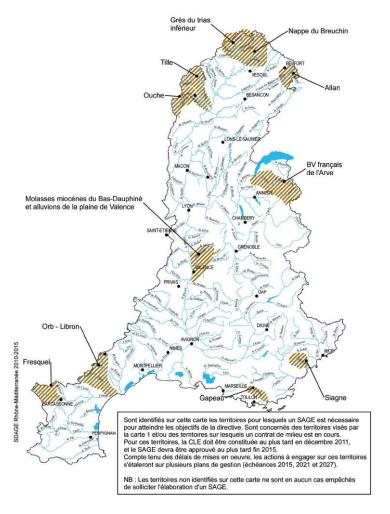


figure 1 : Le SDAGE du Bassin Rhône - Méditerranée

Les limites des bassins versants ont été déterminées sur la base des zones hydrographiques de la BD Carthage<sup>©</sup> de l'IGN. Elles définissent les trois surfaces de référence pour cette étude (figure 2).

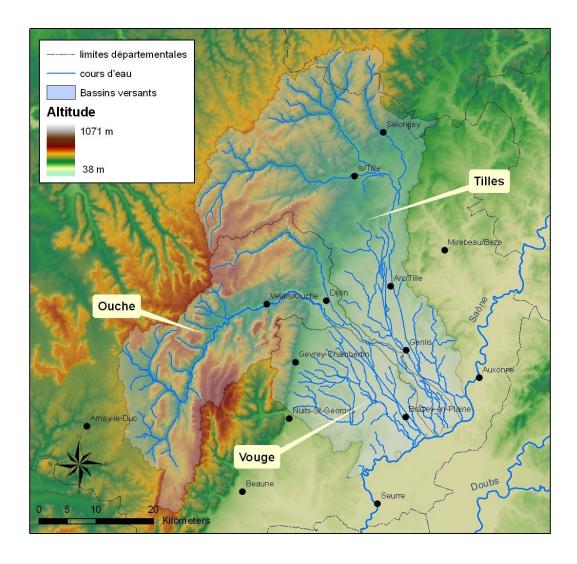


figure 2 : Localisation des bassins versants de la Vouge, l'Ouche et de la Tille (sources : IGN BD Alti pour l'altitude, IGN BD Carthage pour e réseau hydrographique, Dréal Bourgogne/BD Carthage et cette étude pour les limites de bassin versants)

#### 2.1.1 Le bassin versant de la Tille

Le bassin versant de la Tille s'étend sur une superficie de plus de 1280 km² répartie sur 126 communes de Côte d'Or et de Haute-Marne. Ce vaste territoire est composé de deux entités qui présentent des contrastes importants sur le mode d'occupation des sols, la distinction entre ces deux entités se faisant aux environs d'Is sur Tille:

- La partie amont au Nord de cette commune, présente une occupation des sols dominée par les forêts et les prairies, et une faible densité de population.
- La partie avale est caractérisée par une activité agricole intense (avec de vastes zones de cultures irriguées), par une activité d'exploitation de matériaux alluvionnaires et par une forte densité de population due à l'agglomération Dijonnaise.

Le Bassin aval de la Tille couvre une surface de 489 km², soit 61 communes. Il peut être divisé en quatre grands ensembles géologiques:

- un ensemble alluvial du quaternaire où s'écoulent les différents cours d'eau,
- un ensemble alluvial plus ancien,
- un ensemble de terrains tertiaires de part et d'autre des ensembles alluviaux (ces trois ensembles remplissent le fossé bressan),
- un massif calcaire appelé la Côte qui se trouve uniquement au Nord-Ouest du bassin versant.

#### 2.1.2 Le bassin versant de l'Ouche

Le bassin versant de l'Ouche présente une superficie de 920 km² et recoupe les territoires de 130 communes de Côte d'Or. Il peut être scindé en trois parties :

- le bassin amont qui correspond à la zone couvrant les têtes de bassins jusqu'à l'entrée dans l'agglomération Dijonnaise à Plombières. C'est essentiellement un territoire rural et forestier.
- l'agglomération dijonnaise qui s'étend de l'entrée de Plombières jusqu'à la sortie de Longvic
- le bassin aval qui couvre une zone réduite allant de Longvic à Echenon où l'Ouche se jette dans la Saône. Dans cette partie du bassin versant, où se concentrent notamment les activités agricoles, le lit mineur de l'Ouche a été recalibré puis contenu entre des digues. Le lit majeur est quand à lui occupé par l'agriculture intensive (cultures irriguées, maraîchage, céréales).

#### 2.1.3 Le bassin Versant de la Vouge

Le bassin versant de la Vouge s'étend sur une surface plus réduite de 428 km² et recoupe le territoire de 58 communes. Il se place sur deux unités structurales distinctes, à l'amont la Côte qui occupe une surface réduite et à l'aval le fossé Bressan qui constitue la majeure partie de ce bassin versant et est le siège d'activités humaines intenses, notamment agricoles.

#### 2.2 Les alluvions quaternaires

L'extraction des matériaux alluvionnaires est concentrée sur la partie avale des 3 bassins versants, où les cours d'eau ont déposé tout au long du quaternaire des alluvions issues de l'érosion des plateaux calcaires. Ce sont essentiellement les alluvions les plus récentes, dont l'épaisseur dépasse rarement 4-5 mètres, qui sont exploitées. Ces formations sont composées de sables et de graviers assez bien calibrés et lavés et sont souvent exploitées en nappe sur toute leur épaisseur.

# 3 L'extraction de matériaux en zone alluvionnaire et la ressource en eau

On identifie deux types d'impact des exploitations de matériaux en zone alluvionnaire sur la ressource en eau. Il y a d'abord un impact direct sur les volumes d'eau et sur l'hydrodynamique, puis un impact plus indirect sur l'évaporation et la recharge de la nappe.

#### 3.1 Impact sur les nappes d'eau souterraines

#### 3.1.1 Impact sur les volumes d'eau

Lorsque les matériaux exploités constituent la formation aquifère elle-même, la conséquence première est une augmentation du volume des vides utiles (Vu) de l'aquifère correspondant au volume excavé :

Vn = Vt.(1 - Wu/100)

Vn = Volume supplémentaire de vide

Vt = volume total de matériaux excavé et initialement noyé par la nappe

Wu = porosité utile du matériau en % du volume total

Ainsi, 1 m² d'aquifère noyé de porosité utile 30% et exploité sur 1 mètre de profondeur provoque une augmentation de volume de vide de 0,7 m³. Le vide ainsi créé est rapidement rempli d'eau en provenance de l'aquifère, créant localement et temporairement une très légère baisse du niveau de la nappe. Par exemple, une surface d'aquifère (de porosité de 30 %) de 10 km², exploitée sur 0,1 km² et 3 m d'épaisseur dont 2 m sous le niveau de la nappe, provoquerait une baisse du niveau de la nappe de 1,4 cm en moyenne. Cette baisse reste temporaire et correspond à un maximum car elle ne tient pas compte de la réalimentation de la nappe par les pluies efficaces ou d'autres écoulements souterrains. En outre, si l'excavation entraine provisoirement et localement une baisse du niveau de la nappe, cette dernière retrouve rapidement son équilibre notamment si l'excavation n'est pas localisée dans le lit mineur (ce qui est le cas de toutes les exploitations actuelles). En effet, dans ce cas, les conditions d'écoulement aux limites de l'aquifère n étant pas modifiées, les niveaux piézométriques à l'équilibre ne sont pas affectés. La rapidité du retour à l'équilibre dépend de l'intensité de l'extraction et des conditions d'écoulement d'eau dans l'aquifère.

Inversement, les extractions peuvent produire des effets positifs. La présence d'excavation dans l'aquifère noyé augmente le volume d'eau dans l'aquifère. En reprenant le même exemple d'une surface aquifère (porosité de 30%) de 10 km², exploitée sur 0,1 km² et 3 m d'épaisseur dont 2 m sous le niveau de la nappe, on calcule un stockage supplémentaire de 0,14 millions de m³ d'eau. L'impact durable de l'excavation sur le stock d'eau de la nappe est donc uniquement positif.

#### 3.1.2 Impact sur la circulation

L'extraction de matériaux peut avoir localement des conséquences sur la circulation de l'eau dans l'aquifère, notamment parce que la gravière devient une zone de forte transmissivité dans l'aquifère. La piézométrie de la nappe et son hydrodynamique peuvent s'en trouver modifiées.

On se reportera au rapport du BRGM (2007) sur l'impact des exploitations de matériaux alluvionnaires de vallée de la Garonne pour une description détaillée des phénomènes. Ceux généralement attendus dépendent de la nature des gravières. Si les berges et le fond sont colmatés, la gravière constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau dans la nappe et les niveaux piézométriques remontent à l'amont et diminuent à l'aval (figure 3). Par contre, lorsque les berges et le fond ne sont pas colmatés, la gravière est totalement intégrée dans l'hydrodynamique de la nappe. Elle constitue alors un drain qui va diminuer les niveaux piézométriques à l'amont et les augmenter à l'aval (figure 4).

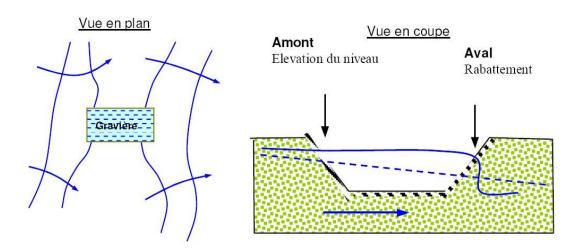


figure 3 : influence de la présence d'une gravière sur les niveaux piézométriques de la nappe alluviale – cas de berges et de fond colmatés (BRGM, 2007)

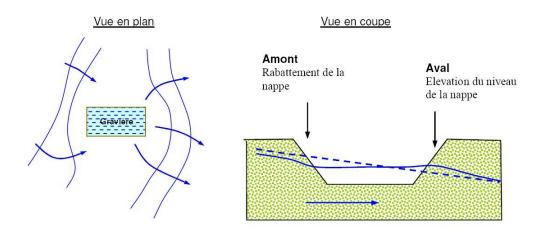


figure 4 : influence de la présence d'une gravière sur les niveaux piézométriques de la nappe alluviale – cas de berges et de fond non colmatés (BRGM, 2007)

# 3.2 Impact sur l'évaporation et la recharge de l'aquifère

La recharge d'un aquifère alluvial est fortement contrôlée par la génération de pluies efficaces (P<sub>eff</sub>). Celles-ci sont généralement considérées comme la différence entre les précipitations totales (P) et l'évapotranspiration réelle (ETR) :

$$P_{eff} = P-ETR$$
 (1)

L'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau perdue par évaporation à la surface du sol ou dans le sol et par transpiration des végétaux. Elle dépend donc d'un coté de la quantité d'eau disponible pour l'évapotranspiration et de l'autre coté de la quantité d'eau que l'atmosphère est capable d'évaporer ou évapotranspiration potentielle (ETP). La quantité d'eau disponible est la somme des précipitations (P) et du stock d'eau à la surface du sol et dans le sol (RU, réserve utile facilement utilisable par les plantes). L'ETP est déterminée par la quantité d'eau évaporée au dessus d'une surface d'eau libre ou d'une prairie en pleine croissance, saine et bien alimentée en eau.

Lorsque la quantité d'eau potentiellement évaporable par l'atmosphère (ETP) est supérieure à la quantité d'eau disponible pour l'évapotranspiration (P+RU), ETR est égale à P+RU. Inversement, si la quantité d'eau disponible pour l'évapotranspiration (P+RU) est supérieure à celle potentiellement évaporable (ETP), alors ETR est égale à ETP. On notera alors que l'ETR est toujours inférieure ou égale à l'ETP.

Dans ce contexte, l'extraction de matériaux dans les aquifères alluviaux ont un impact contrôlé par deux processus :

- Le plan d'eau créé par l'extraction des matériaux alluvionnaires constitue un stock d'eau directement soumis à l'évaporation, alors qu'il l'était moins fortement lorsque ce stock était abrité par l'aquifère ;
- Les processus de recharge de la nappe par les pluies efficaces sont modifiés, notamment parce que la disparition du sol et de la zone non-saturée suppriment l'influence de la réserve utile.

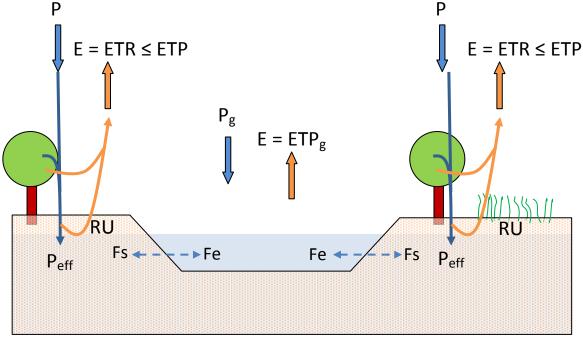


figure 5 : comparaison des processus d'évaporation pour une surface couverte par la végétation et pour une surface d'eau libre – ETR : évapotranspiration réelle ; ETP : évapotranspiration potentielle, P : précipitations ; RU : réserve utile du sol ; P<sub>eff</sub> : pluies efficaces, Fe : flux d'eau de nappe entrant ; Fs : flux d'eau de nappe sortant

Ainsi, une surface excavée atteignant la nappe créé une surface d'eau libre au dessus de laquelle l'évapotranspiration réelle (ETR) devient maximum (équivalente à l'évaporation potentielle, ETP) et ne dépend que du pouvoir évaporant de l'atmosphère. A contrario, la recharge se fait directement par les précipitations (P) et non plus par les précipitations efficaces (P<sub>eff</sub>) (figure 5).

Enfin, pour une gravière aux berges non colmatées, le niveau d'eau dans la gravière correspond au niveau piézométrique de la nappe. Les variations de niveau d'eau dans la gravière sont donc directement liées aux battements de nappe. On peut alors estimer que la différence précipitation – évaporation au dessus de la gravière est compensée par les flux d'eau échangés avec la nappe :

$$P_g - ETR_g = F_s - F_e$$
 (2)

Ft

$$ETR_g = ETP_g$$
 (3)

Avec

- Pg et ETRg, ETPg: lames d'eau précipitée et évaporée (en mm) au dessus de la gravière
- $F_e$ : flux d'eau de nappe entrant et  $F_s$  flux d'eau de nappe sortant de la gravière (en mm par  $m^2$  de surface de gravière)

Au dessus d'une gravière, les pluies efficaces ( $P_{eff}(g)$ ) correspondent alors à :

$$P_{eff}(g) = P_g - ETP_g = F_s - F_e$$
 (4)

On évaluera l'impact d'un plan d'eau (comme celui d'une gravière) sur la recharge de la nappe en comparant les pluies efficaces générées au dessus du plan d'eau ( $P_{eff}$ (gravière)), qui peut être négatif, avec les pluies efficaces ( $P_{eff}$ ) générées par une surface équivalente sans plan d'eau. La variation de recharge ( $\Delta P_{eff}$ ) par les pluies efficaces et par unité de surface sera :

$$\Delta P_{eff} = P_{eff}(g) - P_{eff}$$
 (5)

Par combinaison des équations (1) à (5), on obtient :

$$\Delta P_{eff} = (P_g - ETP_g) - (P - ETR)$$
 (6)

D'où:

$$\Delta P_{eff} = ETR - ETP_g$$
 (7)

ETR étant toujours inférieure ou égale à ETP, le bilan  $\Delta P_{eff}$  est négatif ou nul. L'impact sur la ressource en eau va donc dépendre de la surface de gravières en eau et de la différence entre ETP et ETR pour la région étudiée. Plus cette différence sera faible plus l'impact d'une gravière en eau sera limité.

L'évaluation de cet impact nécessite donc :

- de localiser avec précision l'ensemble des plans d'eau, dont ceux correspondant à des gravières, puis d'en déterminer la surface ;
- de déterminer les quantités d'eau réellement évaporées avec et sans la présence de gravières.

La première tache a été réalisée sur la base de plusieurs bases de données cartographiques complétées par des pointages de terrain. La seconde tache a pu bénéficier d'un modèle simulant la distribution spatiale de l'évapotranspiration réelle sur le territoire bourguignon (Alterre Bourgogne, 2009; Lamy, 2009).

### 4 Cartographie des gravières et de l'occupation du sol

## 4.1 Méthodologie

#### 4.1.1 Bases de données cartographiques

Ce travail a été réalisé sur la base de différentes données cartographiques :

- Photos aérienne 2006 : BD Ortho® de l'IGN à 5m de résolution Des ortho photos (photos aériennes de l'IGN) avec une résolution de 5 mètres
- Topographie: SCAN25® de l'IGN
- Données altimétriques : BD alti® de l'IGN
- Données hydrographiques : BD CARTHAGE® de l'IGN
- Occupation du sol : base de données Corine Land Cover (CLC) fournit en France par le Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable (CGDD). C'est une base de données sur l'occupation biophysique des sols de 38 états Européens.

#### 4.1.2 Outils et méthodes de cartographie

#### Bassins versants

Dans le cadre de ce travail, les bassins versants ont été délimités sur la base des zones hydrographiques de la BD Carthage® de l'IGN. Les surfaces calculées représentent alors 1289 km² pour le bassin de la Tille, 940 km² pour le bassin de l'Ouche et 456 km² pour celui de la Vouge.

#### Gravières en eau

La cartographie a été effectuée dans un premier temps sur la base de documents de l'IGN. Elle a ensuite été complétée, précisée et validée par les exploitants (UNICEM Bourgogne). Elle a été réalisée sous ArcGis® sur la base des informations données par les photos aériennes de 2006 (BD Ortho® de l'IGN) complétée par les cartes topographiques (SCAN25® de l'IGN). La cartographie ne concerne que les plans d'eau et n'intègre pas, par exemple, les surfaces de l'exploitation complète. Tous les plans d'eau ont été cartographiés et classés dans l'une des trois catégories suivantes :

- Gravière ancienne
- gravière en activité
- étang (tous les plans d'eau naturels ou artificiels qui ne sont pas des gravières)

Les gravières sont différenciées des autres plans d'eau par leur géométrie particulière et le fait qu'elles ne sont pas alimentées par un cours d'eau. Les gravières anciennes sont différenciées des gravières en activité par l'absence d'activité d'extraction et la présence de végétation sur les rives de la gravière (figure 6).

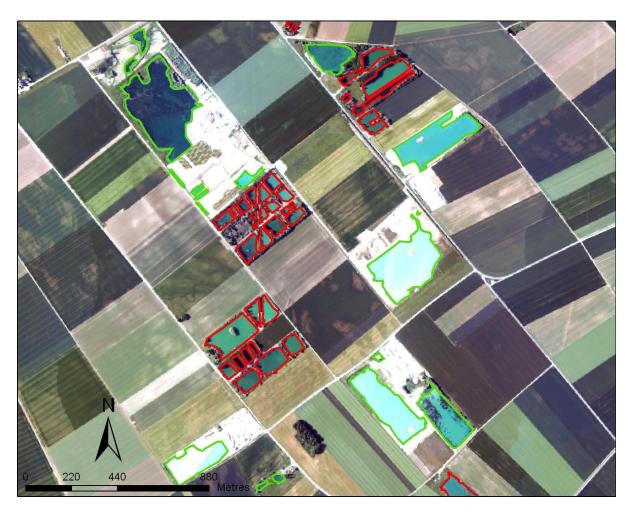


figure 6 : exemple de cartographie en photo aérienne (BD Ortho de l'IGN, année 2006) de gravières anciennes (contours rouges) et de gravières en activité (contours verts) ; seul les surfaces en eau sont cartographiées.

Cette première version de la cartographie a été soumise à l'UNICEM qui a complété et apporté différentes corrections. Ce pointage a notamment permis de requalifier des « gravières en activité » en « gravières anciennes » (25 plans d'eau requalifiés). La cartographie représente la situation en 2006.

#### 4.2 Résultats

#### 4.2.1 Surface des gravières

Au total les contours de 562 plans d'eau (dont 504 gravières) ont été numérisés. Les résultats de la cartographie des plans d'eau, gravières incluses, sont présentés dans le tableau 1.

tableau 1 : surfaces en hectares des plans d'eau sur les trois bassins versants étudiés

Bassins Versants	Tille	Ouche	Vouge	Total
Surface Totale du bassin (ha)	128866	93995	45559	268420
Surface Gravières anciennes (ha)	427,0	38,3	93,5	558,8
Surface Gravières en activité (ha)	111,6	19,2	40,0	170,8
Surface totale Gravières (ha)	538,6	57,5	133,5	729,6
Surfaces étangs (ha)	52,9	252,1*	86,8	391,8
Surface totale des plans d'eau (ha)	591,5	309,6	220,3	1121,4

<sup>\*</sup> Lac Kir compris

Sur la totalité des trois bassins versants, la surface de gravières (en activité ou non) ne constitue que 0,3 % de la surface des bassins versants. Les gravières constituent la majorité des plans d'eau (65% de la surface des plans d'eau) et ne sont, pour la plupart, plus en activité (77% de la surface des gravières correspond à des gravières anciennes).

Il y a cependant des différences d'un bassin versant à l'autre. Sur le bassin de la Tille les gravières couvrent 0,4 % de la surface du bassin (figure 7), constituent la grande majorité des surfaces de plan d'eau (91%) et ne sont plus en activité pour 79% d'entre-elles (figure 8). Sur le bassin de l'Ouche, les gravières, d'une superficie très faible (0,06 % de la surface du bassin, figure 7), ne représentent que 22% des surfaces de plan d'eau et ne sont plus en activité pour 67% d'entre-elles (figure 8). Enfin, sur le bassin de la Vouge, les gravières couvrent 0,3 % de la surface du bassin (figure 7), constituent 60% des surfaces de plan d'eau et ne sont plus en activité pour 70% d'entre-elles (figure 8).

Les bassins versants de la Tille et de la Vouge possèdent donc des caractéristiques semblables : les plans d'eau sont majoritairement des gravières mais qui ne sont plus en activité pour la majorité d'entre-elles. A l'inverse, sur le bassin versant de l'Ouche, la proportion des surfaces de gravières, dont les deux tiers ne sont plus actives, est très inférieure à celle des étangs. D'une façon générale, les gravières anciennes constituent la majorité des surfaces de gravières (67 à 79%) sur les trois bassins versants.

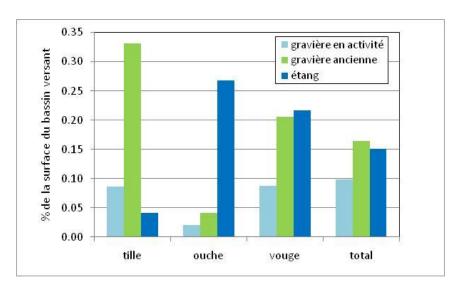


figure 7 : proportion des plans d'eau, gravières et étangs (en % de la surface des bassins versants)

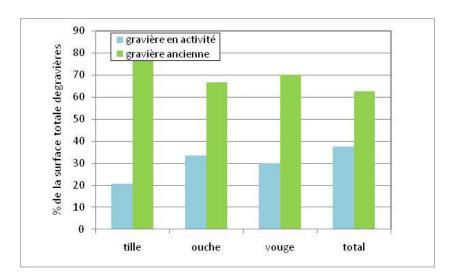


figure 8 : proportion (en % de la surface de gravière) des superficies de gravières anciennes et en activité sur les bassins de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge

#### 4.2.2 Comparaison avec les autres modes d'occupation du sol

Les superficies occupées par les gravières sont comparées à celles d'autres usages sur la base des données d'occupation du sol du Corine land Cover 2006 (CLC). Les différentes classes d'occupation du sol du CLC ont été regroupées en classes synthétiques comme décrit dans le tableau 2.

tableau 2 : correspondances entre les classes du Corine Land Cover et les catégories d'occupation du sol définies dans cette étude. La catégorie « plan d'eau » (code 512 de la nomenclature Corine Land Cover) n'apparaît pas dans le tableau ; elle est simplement remplacée par la cartographie beaucoup plus détaillée réalisée.

Catégorie d'occupation du sol (cette étude)	Classes du Corine Land Cover 2006
Vergers et vignobles	221 « Vignobles » et 222 « Vergers et petits fruits »
Cultures	211 « Terres arables hors périmètre d'irrigation », 242 « Systèmes culturaux et parcellaires complexes » et 243 « Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants »
Prairies	231 « Prairies »
Zones urbaines et périurbaines	111 « Tissu urbain continu », 112 « Tissu urbain discontinu », 121 « Zones industrielles et commerciales », 122 « Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés », 124 « Aéroports », 131 « Extraction de matériaux », 133 « Chantiers », 141 « Espaces verts urbains », 142 « Equipements sportifs et de loisirs »
Forêts	311 « Forêts de feuillus », 312 « Forêts de conifères », 313 « Forêts mélangées »
Autre	321 « Pelouses et pâturages naturels », 322 « Landes et broussailles », 323 « Végétation sclérophylle », 324 « Forêt et végétation arbustive en mutation », 511 « cours et voies d'eau »

Les surfaces occupées par les gravières restent extrêmement faibles par rapport à celles occupées par d'autres usages (tableau 3), parmi lesquels l'agriculture est le principal. Actuellement, les gravières constituent 0,5% des surfaces agricoles (cultures et prairies) pour les trois bassins versants (0,8% sur la Tille, 0,1% sur l'Ouche et 0,5% sur la Vouge). Sur la base d'une hypothèse de progression des surfaces de gravière de 10 à 20% dans les 15 prochaines années, elles constitueraient alors 0,65 à 0,70 % de la surface des cultures pour les trois bassins versants (0,9 à 1 % sur la Tille, 0,2 sur l'Ouche et 0,6 à 0,7 % sur la Vouge), soit une progression insignifiante, notamment en regard de la progression des zones urbaines et périurbaines attendue (+ 20% d'habitants supplémentaires sur le Grand Dijon d'ici à 2020).

tableau 3 : superficies (en hectares) et proportions (en % de la surface totale du bassin versant) des différents usages des sols sur les bassins de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge. Les catégories d'usage des sols sont définies dans le tableau 2.

	tille	Ouche	Vouge	Total
Cultures				
Surface (ha)	63383	30769	24631	118782
Proportion (%)	49.2	32.7	54.1	44.3
Prairies				
Surface (ha)	6647	16582	1060	24288
Proportion (%)	5.2	17.6	2.3	9.0
total agriculture				
Surface (ha)	70079	47383	25745	143207
Proportion (%)	54.4	50.4	56.5	53.4
Forets				
Surface (ha)	51694	37768	13381	102844
Proportion (%)	40.1	40.2	29.4	38.3
Zone urbanisée				
Surface (ha)	5948	6945	3319	16212
Proportion (%)	4.6	7.4	7.3	6.0
Vergers et vignobles				
Surface (ha)	0	139	2058	2198
Proportion (%)	0.0	0.1	4.5	0.8
Gravières anciennes et en a	ctivité			
Surface (ha)	539	58	134	731
Proportion (%)	0.4	0.1	0.3	0.3
Lacs et étangs				
Surface (ha)	53	252	87	392
Proportion (%)	<0.1	0.3	0.2	0.2
Autre				
Surface (ha)	553	1450	836	2822
Proportion (%)	0.4	1.5	1.8	1.1
Total				
Surface (ha)	128866	93995	45559	268420
Proportion (%)	100.0	100.0	100.0	100.0

### 5 Impact des gravières sur la ressource en eau

Comme cela a été évoqué plus haut dans ce rapport, les gravières affectent potentiellement le niveau des nappes alluviales, notamment parce qu'elles modifient les processus d'évaporation. Il s'agit donc de quantifier cet impact en estimant très précisément les lames d'eau évaporées supplémentaires au dessus des gravières puis en les comparant avec les lames d'eau évaporées hors gravières.

#### 5.1 Méthodologie

La méthodologie utilisée ici pour estimer les quantités d'eau évaporées est celle d'un travail scientifique coordonné par Alterre Bourgogne (2009) sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau (voir également Lamy, 2009). Ce travail a notamment estimé pour l'ensemble des territoires bourguignons les lames d'eau évapotranspirées (ETR) mensuellement sur la base d'un modèle de bilan hydrique spatialisé. Les années de référence utilisées dans ces travaux sont 1991 représentant une année climatique moyenne et 2003 représentant une année plus chaude que la moyenne.

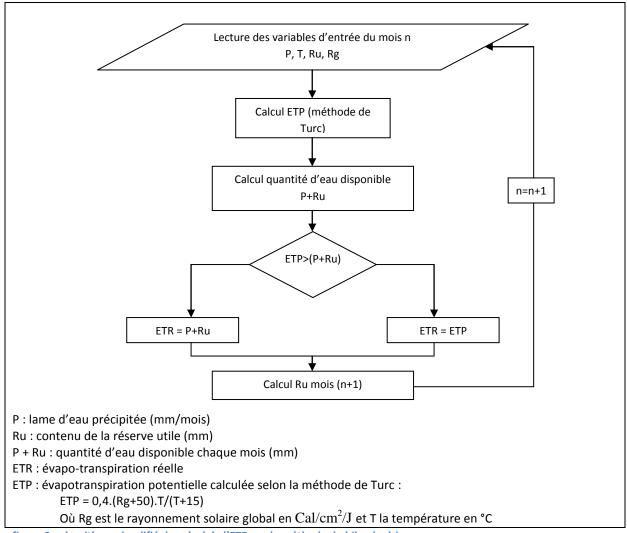


figure 9 : algorithme simplifié du calcul de l'ETR par la méthode du bilan hydrique

Le calcul de l'ETR est basé sur un modèle de bilan hydrique permettant d'intégrer la recharge ou la décharge de la réserve utile des sols dans le calcul (figure 9). Chaque mois, la quantité d'eau disponible est comparée à l'évapotranspiration potentielle, puis le modèle calcule l'état de la réserve utile qui sera intégrée à la quantité d'eau disponible du mois suivant. De façon à prendre en compte l'influence de l'occupation du sol sur l'évapotranspiration, l'ETP est affectée d'un coefficient cultural (Kc) qui varie en fonction de la saison de façon à prendre en compte l'état des cultures sur l'évapotranspiration (Lamy, 2009).

Ce modèle de bilan hydrique spatialisé à l'échelle du territoire bourguignon estime, pour chaque maille de 1km x 1km, l'ETP et l'ETR et la réserve utile au pas de temps mensuel. Le modèle ne calcule pas l'ETR pour les zones urbaines et péri-urbaines. Il ne prend pas non plus en compte l'irrigation des cultures. Il est ensuite possible d'établir des bilans mensuels et annuels pour des zones particulières du territoire bourguignon.

#### 5.2 Résultats

#### 5.2.1 Lames d'eau précipitées et évapotranspirées

Le bilan des lames d'eau précipitées (P) et évapotranspirées (ETR) en 1991 a été établi pour chaque bassin versant et pour les différents usages du sol (en dehors des zones urbaines et périurbaines pour lesquelles le modèle ne donne pas de résultats). Une synthèse en est présentée dans le tableau 4. Les résultats sont relativement homogènes d'un bassin versant à l'autre. Les précipitations varient de 863 à 936 mm et sont légèrement plus fortes sur l'Ouche et la Vouge que sur la Tille. L'évapotranspiration est plus forte pour la Vouge (635 mm) que pour l'Ouche (567 mm) et surtout la Tille (532 mm). Au dessus des zones alluviales, l'évapotranspiration est logiquement un peu plus élevée que sur l'ensemble du bassin versant, probablement parce que ces zones, situées aux altitudes les plus basses, sont un peu plus chaudes, ce qui favorise l'évapotranspiration.

tableau 4 : bilan des lames d'eau précipitées et évapotranspirées annuellement (1991) sur la totalité des bassins versants, leur zones alluviales et leurs différents plans d'eau, calculés sur la base du modèle de bilan hydrique spatialisé 1km x 1km

				Tille		Ouche		/ouge
			surface (ha)	lame d'eau (mm/an)	Surface (ha)	lame d'eau (mm/an)	Surface (ha)	lame d'eau (mm/an)
BV (hors zo	one urbaine	Р	122326	863	86740	922	42020	936
et plan	s d'eau)	ETR	122320	532	80740	567	42020	635
Zone a	Zana alluudala*		63691	874	20366	913	40434	941
Zone alluviale*		ETR	03031	558	20300	576	40454	646
Cultures, prairies**		Р	70079	871	47383	894	25745	954
Cuitures,	prairies	ETR	70079	530	47303	576	23743	667
	Gravières	Р	112	900	27	1014	40	962
	actives	ETR	112	1013	21	1024	40	1023
Plan eau	Gravières	Р	427	903	30	969	94	949
riali cau	anciennes	ETR	427	1012	30	1022	24	1021
	Ftangs	Р	53	878	252	1001	87	953
	Etangs	ETR	<i>J</i> 3	985	232	960	07	1028

<sup>\*</sup> pour chaque bassin versant, la zone alluviale est définie morphologiquement comme la partie avale du bassin versant d'altitude inférieure à 336 mètres.

<sup>\*\*</sup> le modèle ne prend pas en compte l'irrigation des cultures

Pour les plans d'eau, les valeurs de précipitations sont légèrement supérieures à la moyenne du bassin versant. On remarquera une plus grande hétérogénéité des valeurs, en partie causée par la petite taille des surfaces de plan d'eau par rapport à la résolution spatiale du modèle qui est de 1 km x 1 km. Les valeurs d'ETR sont élevées et sont la plupart du temps légèrement supérieures aux lames d'eau précipitées. En effet, la quantité d'eau disponible étant illimitée au dessus des plans d'eau, l'ETR a été déterminée comme équivalente à l'ETP (voir plus haut paragraphe 3.2).

#### **5.2.2** Impact sur les pluies efficaces

L'impact des gravières sur la ressource en eau peut être analysé au regard des précipitations efficaces (Peff) annuelles générées à l'échelle du bassin versant. On peut en effet considérer que la ressource en eau globale d'un bassin versant correspond à la quantité d'eau drainée, c'est-à-dire aux pluies efficaces annuelles (Peff) à l'échelle du bassin versant, soit la différence entre les précipitations (P) et l'évapotranspiration réelle (ETR). La présence d'un plan d'eau vient modifier les pluies efficaces essentiellement en raison de l'augmentation de l'évaporation (voir paragraphe 3.2). De façon à évaluer cet impact, nous avons effectué le bilan des précipitations efficaces à l'échelle des trois bassins versants sur la base de différentes situations de consommation/production de ces pluies efficaces. Le tableau 5 présente ce bilan en volume (m³/an) pour l'année 1991 et pour chaque bassin versant selon 3 simulations :

- Simulation 1 [situation actuelle] : situation actuelle intégrant les plans d'eau ; les pluies efficaces sont calculées d'après les valeurs d'ETR du tableau 4.
- Simulation 2 [plans d'eau remplacés par occupation du sol proche] : les valeurs d'ETR ont été calculées par le modèle en affectant à toutes les surfaces de plan d'eau l'occupation des sols des surfaces les plus proches ; les résultats simulent donc les pluies efficaces comme si aucun plan d'eau n'avait jamais été créé sur le bassin versant.
- Simulation 3 [gravières remplacées par occupation du sol proche] : les valeurs d'ETR ont été calculées par le modèle en affectant aux surfaces de gravières uniquement l'occupation des sols des surfaces les plus proches ; les résultats simulent donc les pluies efficaces comme s'il n'y avait aucune gravière sur le bassin versant.

La différence entre les simulations 1 et 2 permet d'apprécier l'impact global des plans d'eau. La différence entre les simulations 1 et 3 permet d'apprécier l'impact des gravières seules.

tableau 5 : Evaluation de la modification des pluies efficaces (Peff = P – ETR) par la présence des plans d'eau (gravières + étangs) sur les bassins versants de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge pour l'année 1991. La première partie du tableau présente les lames d'eau évapotranspirées et précipitées. La seconde partie présente les résultats du calcul des pluies efficaces annuelles de 1991 pour les 3 situations décrites dans le texte.

P : précipitations annuelles ; ETR : évapotranspiration réelle annuelle ; ETR<sub>0</sub> : évapotranspiration annuelle dans le cas où le plan d'eau est remplacé par l'usage le plus proche

bilan lame d'eau (mm/an)										
	Tille		Ou	Ouche		Vouge		Total		
		surface (ha)	lame d'eau (mm/an)	surfac e (ha)	lame d'eau (mm/an)	surface (ha)	lame d'eau (mm/an)	surface (ha)	lame d'eau (mm/an)	
Bassin versant	Р	400000	863	007.10	922	40000	936	051000	896	
(hors zone urbaine et plan d'eau)	ETR	122326	532	86740	567	42020	635	251086	561	
	Р	112	900	27	1014		962	179	932	
gravière en activité	ETR		1013		1024	40	1023		1017	
	$ETR_0$		551		545		579		557	
	Р		903		969		949		914	
gravière ancienne	ETR	427	1012	30	1022	94	1021	551	1014	
	$ETR_0$		571		564		622		579	
	Р		878		1001		953		974	
étang	ETR	53	985	252	960	87	1028	392	978	
	$ETR_0$		575		647		699		649	

#### Simulations: bilan volumique (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an)

		Tille		Ouche		Vouge		Total	
		surface * (ha)	volume d'eau (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an)	surfac e (ha)	volume d'eau (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an)	surface (ha)	volume d'eau (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an)	surface (ha)	volume d'eau (10 <sup>6</sup> m³/an)
	Р		1061,001		802,836		395,407		2259,244
Simulation 1 : [situation actuelle]	ETR	122918	656,752	87050	494,825	42240	269,083	252208	1420,660
	Peff		404,249		308,011		126,324		838,584
Simulation 2 : [plans d'eau	Р		1061,001		802,836		395,407		2259,244
remplacés par	ETR	122918	654,133	87050	493,767	42240	268,247	252208	1416,148
occupation du sol proche]	Peff		406,868		309,068		127,160		843,096
Simulation 3 : [gravières	Р		1061,001		802,836		395,407		2259,244
remplacées par occupation du sol	ETR	122918	654,350	87050	494,555	42240	268,532	252208	1417,437
proche]	Peff		406,651		308,280		126,875		841,807

<sup>\*</sup> Les zones urbaines sont exclues de la simulation; la surface présentée ici correspond à celle du bassin versant moins celle des zones urbaines.

tableau 6 : Impact différentiel des plans d'eau sur les précipitations efficaces de 1991 ( $\Delta P_{\rm eff}$  : différences de pluies efficaces entre 2 simulations du tableau 5) pour les bassins versants de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge. S1, S2 S3 désignent la simulation 1, 2 et 3 respectivement.

#### Impact des plans d'eau (gravières + étangs)

différence S2-S1 [plans d'eau remplacés par occupation du sol proche] – [situation présente]

	Tille	Ouche	Vouge	Total
$\Delta P_{\text{eff}}$ brut (millions de m <sup>3</sup> /an)	2.619	1.057	0.836	4,512
$\Delta P_{\text{eff}}$ relatif (% des $P_{\text{eff}}$ [BV sans plan d'eau])	0.64	0.34	0.66	0,54

#### Impact des gravières seules

Différence S3-S1 [gravières remplacées par occupation du sol proche] – [situation présente]

	Tille	Ouche	Vouge	
$\Delta P_{\text{eff}}$ brut (millions de m <sup>3</sup> /an)	2,402	0,269	0,551	3,222
$\Delta P_{\text{eff}}$ relatif (% des $P_{\text{eff}}$ [BV sans plan d'eau])	0,59	0,09	0,43	0,38

#### Impact des étangs seuls

Différence S2-S3 [plans d'eau remplacés par occupation du sol proche] – [gravières remplacées par occupation du sol proche]

	Tille	Ouche	Vouge	
$\Delta P_{\text{eff}}$ brut (millions de m <sup>3</sup> /an)	0,217	0,788	0,285	1,290
$\Delta P_{\text{eff}}$ relatif (% des $P_{\text{eff}}$ [BV sans plan d'eau])	0,05	0,25	0,22	0,15

Les résultats de ces simulations montrent que les surfaces de gravière génèrent annuellement une diminution d'un peu moins de 0,4 % des pluies efficaces (P<sub>eff</sub>) pour l'ensemble des 3 bassins versants. Cette diminution va jusqu'à 0,54% des pluies efficaces si on inclut l'ensemble des plans d'eau. D'un bassin versant à l'autre, ce bilan peut varier, notamment sur celui de l'Ouche où les gravières peu nombreuses n'affectent pas réellement les pluies efficaces (diminution de moins de 0,1% des P<sub>eff</sub>). Le bassin versant de la Tille, qui présente la plus forte densité de gravières, montre l'impact le plus fort mais il reste cependant très inférieur à 1% des pluies efficaces. On notera que l'impact des étangs n'est pas négligeable, notamment sur les bassins versants de L'ouche et de la Vouge. C'est même la principale source de perte en eau par « sur-évaporation » sur le bassin de l'Ouche (diminution de 0,25 % des P<sub>eff</sub>).

#### 5.2.3 Discussion

Les volumes d'eau manquant aux pluies efficaces annuelles, s'ils ne sont pas complètement négligeables, ne représentent qu'une très faible proportion de la recharge des nappes et donc de la quantité d'eau disponible sur le bassin versant. Ces estimations ont été réalisées sur la base d'une méthodologie très fine, inédite, qui prend notamment en compte les disparités spatiales des termes du bilan hydrologique (P et ETR) et de la réserve utile des sols. Les résultats doivent cependant être relativisés au regard de plusieurs incertitudes.

Tout d'abord, l'estimation de l'ETR, quelque soit la méthode utilisée, reste complexe. Le modèle spatiale utilisé (Alterre Bourgogne, 2009) n'a pas encore fait l'objet de teste de sensibilité et les incertitudes restent difficiles à déterminer. D'après Musy et Higy (2004) on peut évaluer l'incertitude pesant sur les estimations à 10 mm/an à l'échelle locale. Cette erreur, si elle est directement répercutée sur les pluies efficaces de l'ensemble de la surface des bassins versants génèrent une incertitude de 3% sur les précipitations efficaces. Par contre, l'estimation de l'évaporation au dessus des plans d'eau est plus précise car elle n'est contrainte que par les conditions atmosphériques (l'état de surface – couvert végétal, sol par exemple n'a pas d'importance).

Par ailleurs, en raison de la difficulté de délimitation des bassins versants de la Vouge de l'Ouche et de la Tille, les bilans hydrologiques sont toujours délicats à établir à cause des pertes d'eau liées aux circulations dans les réseaux karstiques sur l'amont des bassins versants. En outre, il semblerait que des pertes importantes vers des aquifères profonds aient lieu sur les bassins amont de la Vouge et de L'Ouche. Corbier (1999) estime ainsi ces pertes entre 60 et 85 millions de m³ par an.

Enfin, le présent travail a été réalisé sur la base des données climatiques de l'année 1991, ce qui a permis de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale des variables climatiques et pédologiques. Même si cette année est considérée comme représentative des 20 dernières années (Alterre Bourgogne, 2009) pour l'ensemble du territoire bourguignon, elle n'est en rien une année moyenne. L'utilisation de données moyennes (par exemple la moyenne des 15 dernières années) aurait permis de s'affranchir du risque de prendre en compte localement un contexte spécifique lié à 1991.

#### 6 Conclusions

L'ouverture d'exploitations de granulats en zone alluvionnaire peut poser question quant à son impact sur la ressource en eau, notamment lorsque les excavations atteignent la surface de la nappe alluviale et exposent cette dernière aux différents aléas.

Ce travail a permis d'évaluer précisément l'impact quantitatif de la présence de gravières sur la ressource en eau en Côte d'Or sur les bassins de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge, en estimant les diminutions induites sur les pluies efficaces.

#### Emprise des plans d'eau créés par l'exploitation des granulats

Le travail de cartographie mené à haute résolution a recensé très précisément les différents plans d'eau et leur nature (gravières anciennes, en activité et étangs) sur l'ensemble des trois bassins versants. Il révèle que l'emprise des gravières reste faible et représente 0,06 à 0,4% de la superficie des bassins versants, soit 0,2 à 0,8 % des surfaces cultivées.

#### Impact sur les niveaux piézométriques et la circulation d'eau dans la nappe

L'impact de l'excavation sur le niveau des nappes est inexistant à l'échelle annuelle et lorsque les exploitations sont localisées en dehors des lits mineurs des cours. L'implantation d'une gravière en zone alluvionnaire peut localement modifier la circulation de l'eau dans la nappe. Il convient à chaque nouvelle implantation de procéder à une étude hydrogéologique, notamment lorsque la nappe concernée fait l'objet de captages pour l'alimentation en eau potable. A contrario, les excavations génèrent un volume de stockage supplémentaire pour l'aquifère. Pour un aquifère de porosité 30%, exploité sur 0,1 km² et 3 m d'épaisseur dont 2 m sous le niveau de la nappe, le stockage d'eau supplémentaire est évalué à 0,14 millions de m³ d'eau.

#### Impact sur la recharge de la nappe et la consommation par évaporation supplémentaire

A partir des travaux récemment coordonnés par Alterre Bourgogne (2009), un bilan des précipitations efficaces dans différents scénarios d'emprise des gravières et plans d'eau a été effectué sur les trois bassins versants. Ce bilan montre que les gravières ont un impact quantitatif visible mais très limité à l'échelle du bassin versant. En effet, on estime que les gravières diminuent les précipitations efficaces annuelles d'un peu moins de 0,4% par « sur-évaporation » sur l'ensemble des 3 bassins versants. Cette diminution des pluies efficaces monte à 0,54 % si on inclut les étangs. Ces derniers sont d'ailleurs les plans d'eau les plus impactant sur le bassin versant de l'Ouche (diminution de 0,25 % des pluies efficaces).

# 7 Bibliographie

ALTERRE Bourgogne, 2009, L'impact du changement climatique sur la ressource en eau. Repère 53, décembre 2009.

CORBIER, P. 1999, Mise en évidence d'une alimentation des aquifères poreux plio-quaternaires par les massifs karstiques de bordure-étude des relations entre la Côte et l'Arrière-Côte dijonnaises et la plaine de la Bresse. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 187 pp.

LAMY, Chloë, 2009, Evaluation de la réserve en eau des sols à l'échelle des pédopaysages de Bourgogne-Influence des changements climatiques. Rapport de stage pour le M2 Ingénierie des Hydrosystèmes et des Bassins Versants, parcours Bassins Versants-Transfert de Tours.

MUSY A., HIGY C., 2004, Hydrologie, une science de la nature. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, 314 pp.

SAPLAIROLES, M; DESPRATS, J.F; DELPONT, G; BOURGUIGNON, A, 2007, Evaluation de l'impact sur la ressource en eaux souterraines de l'exploitation de granulats dans le milieu alluvionnaire de la Garonne (31), BRGM/RP-55673-FR.

# **ANNEXE**

Surface et périmètre des plans d'eau (Lacs, étangs, gravières) cartographiés sur les trois bassins versants de la Tille, de l'Ouche et de la Vouge

Numéro d'identification	catégorie	Superficie (m²)	Périmètre (m)	Bassin Versant
0	étang	8415	438	VOUGE
1	étang	98824	1579	VOUGE
2	étang	43156	1186	VOUGE
3	étang	28471	1269	VOUGE
4	étang	4516	257	VOUGE
5	étang	16548	530	VOUGE
6	étang	11383	516	VOUGE
7	gravière	14068	517	VOUGE
8	gravière	31831	744	VOUGE
9	gravière	41452	839	VOUGE
10	gravière	4938	338	VOUGE
11	gravière	156321	1866	VOUGE
12	gravière	22286	1049	VOUGE
13	gravière	21519	632	VOUGE
14	lac Kir	337804	4148	OUCHE
15	étang	3267	262	TILLES
16	étang	1695	190	TILLES
17	étang	10272	390	TILLES
18	étang	6591	338	TILLES
19	étang	849	191	TILLES
20	étang	969	146	TILLES
21	étang	2135	292	TILLES
22	étang	57549	1239	TILLES
23	étang	4609	305	TILLES
24	étang	16369	558	TILLES
25	étang	26584	788	TILLES
26	gravière	91895	1408	VOUGE
27	gravière	14640	639	VOUGE
28	gravière	2614	247	VOUGE
29	gravière en activité	4712	307	VOUGE
30	gravière	3928	276	VOUGE
31	étang	102468	1221	VOUGE
32	étang	19664	789	VOUGE
33	étang	96659	2139	VOUGE
34	étang	71708	1624	VOUGE
35	étang	20394	682	VOUGE
36	étang	15552	614	VOUGE
37	étang	112446	1825	VOUGE
38	étang	64046	1515	VOUGE
39	étang	12835	463	TILLES
40	gravière	52240	1001	TILLES
41	gravière	63622	1017	TILLES
42	gravière	98669	1300	TILLES

43	gravière	29801	754	TILLES
44	gravière	29926	832	TILLES
45	gravière	11899	507	TILLES
46	gravière	84198	1772	TILLES
47	gravière	61177	1504	TILLES
48	gravière	5805	349	TILLES
49	gravière	15972	522	TILLES
50	gravière	1894	202	TILLES
51	gravière en activité	12510	731	TILLES
52	gravière	33999	775	TILLES
53	gravière	29434	887	TILLES
54	gravière	27249	868	TILLES
55	gravière	11585	566	TILLES
56	gravière	28899	919	TILLES
57	gravière	9624	512	TILLES
58	gravière	34681	1284	TILLES
59	gravière	29521	808	TILLES
60	gravière	26555	713	
61	gravière	5074	335	TILLES
62	gravière	4140	307	
63	gravière	4401	273	TILLES
64	gravière	4388	288	TILLES
65	gravière	10348	700	TILLES
66	gravière	7193	352	TILLES
67	gravière	5539	331	TILLES
68	gravière	4472	301	TILLES
69	gravière	4577	348	TILLES
70	gravière	3687	265	TILLES
71	gravière	10565	465	TILLES
72	gravière	38165	1103	TILLES
73	gravière	17988	610	TILLES
74	gravière	14847	483	TILLES
75	gravière en activité	123350	2869	TILLES
76	gravière en activité	105174	1360	TILLES
77	gravière	56241	1392	TILLES
78	gravière	17154	521	TILLES
79	gravière	4384	281	TILLES
80	gravière	4874	311	TILLES
81	gravière	15723	463	TILLES
82	gravière	18400	660	TILLES
83	gravière	1591	225	TILLES
84	gravière	1531	216	TILLES
85	gravière	1660	200	TILLES
86	gravière	1614	206	TILLES
87	gravière	1929	224	
88	gravière	1898	203	TILLES
00	Biavicic	1030	203	TILLES

89	gravière	1903	223	THIEC
90	gravière	1612	217	TILLES
91	gravière	1546	222	TILLES
92	gravière	1582	209	TILLES
93	gravière	1256	207	TILLES
				TILLES
94	gravière	1784	289	TILLES
95	gravière	2572	303	TILLES
96	gravière	1992	281	TILLES
97	gravière	2231	286	TILLES
98	gravière	3508	221	TILLES
99	gravière	1320	176	TILLES
	gravière	5335	485	TILLES
	gravière	1281	150	TILLES
	gravière	997	179	TILLES
103	gravière en activité	3311	287	TILLES
	gravière	1237	139	TILLES
	gravière	593	147	TILLES
106	gravière	3925	264	TILLES
107	gravière	4037	267	TILLES
	gravière	3359	221	TILLES
	gravière	2606	217	TILLES
110	gravière	3625	237	TILLES
111	gravière	1947	219	TILLES
112	gravière	1023	153	TILLES
113	gravière	805	138	TILLES
114	gravière	986	156	TILLES
115	gravière	789	127	TILLES
116	gravière	60295	1036	TILLES
117	gravière	1763	352	TILLES
118	gravière	1737	222	TILLES
119	gravière	2593	202	TILLES
120	gravière	1518	172	TILLES
121	gravière	1280	175	TILLES
122	gravière	611	105	TILLES
123	gravière	1160	176	TILLES
124	gravière	775	133	TILLES
125	gravière	1096	157	TILLES
126	gravière	723	145	TILLES
127	gravière	901	149	TILLES
128	gravière	961	177	TILLES
129	gravière	748	107	TILLES
130	gravière	890	119	TILLES
131	gravière	47768	1442	TILLES
132	gravière en activité	256202	2250	TILLES
133	gravière en activité	117010	1700	TILLES
134	gravière en activité	89038	3049	TILLES

135	gravière	21829	691	TILLES
136	gravière	130429	1732	TILLES
137	gravière	11024	573	TILLES
138	gravière	14774	712	TILLES
139	gravière	27748	696	TILLES
140	gravière	20726	680	TILLES
141	gravière	18329	790	TILLES
142	gravière	23650	926	TILLES
143	gravière	15346	707	TILLES
144	gravière	9013	440	TILLES
145	gravière	10444	471	TILLES
146	gravière	14622	510	TILLES
147	gravière	9605	401	TILLES
148	gravière	8118	392	TILLES
149	gravière	4903	384	TILLES
150	gravière	34367	853	TILLES
151	gravière	6442	321	TILLES
152	gravière	13942	469	
153	gravière	12126	548	TILLES
154	gravière	11529	550	TILLES
155	gravière	9201	550	TILLES
156	gravière	6215	388	TILLES
157	gravière	9091	517	TILLES
158	gravière	8072	377	TILLES
159		24982	725	TILLES
160	gravière gravière	20528	682	TILLES
161	gravière	5167	322	TILLES
162	gravière	6058	351	TILLES
163	gravière	10539	485	TILLES
164	gravière	8929	388	TILLES
165	gravière	4372	301	TILLES
166	gravière	5064	279	TILLES
167	gravière	5931	355	TILLES
168	gravière	4582	324	TILLES
169	gravière	4994	269	TILLES
170	gravière	6019	333	
171	gravière	7411	468	TILLES
172	gravière	4470	286	TILLES
173	gravière	4807	367	TILLES
174	gravière	3144	267	TILLES
175	gravière	4413	372	TILLES
176	gravière	3487	348	TILLES
177	gravière	4390	419	TILLES
177	gravière	4998	436	TILLES
178	gravière	2714	261	TILLES
180		2339	223	TILLES
180	gravière	2339	223	TILLES

181	gravière	2411	249	THIFC
182	gravière	2997	209	TILLES
183	gravière	2157	187	TILLES
184	gravière	2454	205	TILLES
185	gravière	3292	279	TILLES
186		3292	251	TILLES
	gravière			TILLES
187	gravière	2070 1921	175 252	TILLES
188	gravière			TILLES
189 190	gravière	3142 4607	211 299	TILLES
	gravière			TILLES
191	gravière	6929	388	TILLES
192	gravière	6138	320	TILLES
193	gravière	3711	233	TILLES
194	gravière	2890	233	TILLES
195	gravière	913	137	TILLES
196	gravière	344	109	TILLES
197	gravière	1354	201	TILLES
198	gravière	19476	599	TILLES
199	gravière	12760	478	TILLES
200	gravière	27382	745	TILLES
201	gravière	6147	346	TILLES
202	gravière	38620	1102	TILLES
203	gravière	1405	214	TILLES
204	gravière	20423	853	TILLES
205	gravière	7001	516	TILLES
206	gravière	39076	1142	TILLES
207	gravière	55160	1377	TILLES
208	gravière	14611	540	TILLES
209	gravière	24888	814	TILLES
210	gravière	8518	448	TILLES
211	gravière	55384	1656	TILLES
212	gravière en activité	18162	623	TILLES
213	gravière en activité	571	99	TILLES
214	gravière	17924	548	TILLES
215	gravière	9067	437	TILLES
216	gravière	19432	566	TILLES
217	gravière	10383	529	TILLES
218	gravière	13001	500	TILLES
219	gravière	8266	408	TILLES
220	gravière	15261	568	TILLES
221	gravière	2892	226	TILLES
222	gravière	3050	229	TILLES
223	gravière	9602	573	TILLES
224	gravière	9396	634	TILLES
225	gravière	27179	771	TILLES
226	gravière	10757	431	TILLES

227	gravière en activité	41933	1211	THATC
227	gravière en activite	7789	404	TILLES
			-	TILLES
229	gravière en activité	57919	1093	TILLES
230	gravière en activité	9043	372	TILLES
231	gravière	15742	584	TILLES
232	gravière	28689	845	TILLES
233	gravière	12053	517	TILLES
234	gravière	15772	711	TILLES
235	gravière	981	155	TILLES
236	gravière	10540	501	TILLES
237	gravière	13424	510	TILLES
238	gravière	24623	690	TILLES
239	gravière	3781	259	TILLES
240	gravière	27528	726	TILLES
241	gravière	22498	664	TILLES
242	gravière	21923	659	TILLES
243	gravière	26108	703	TILLES
244	gravière	22069	633	TILLES
245	gravière	5118	359	TILLES
246	gravière	12938	564	TILLES
247	gravière	14327	484	TILLES
248	gravière	11937	587	TILLES
249	étang	4001	373	TILLES
250	étang	1559	150	TILLES
251	gravière	23496	638	TILLES
252	gravière	18450	567	TILLES
253	gravière	19263	660	TILLES
254	gravière	18161	566	TILLES
255	gravière en activité	2912	227	TILLES
256	gravière en activité	1080	150	TILLES
257	gravière en activité	31104	1071	TILLES
258	gravière	36657	1345	TILLES
259	gravière	5899	348	TILLES
260	gravière	3285	287	TILLES
261	gravière	4136	325	TILLES
262	gravière	2208	202	TILLES
263	gravière	2233	190	TILLES
264	gravière en activité	24167	807	TILLES
265	gravière	6337	371	TILLES
266	gravière	14131	677	TILLES
267	gravière	7821	361	TILLES
268	gravière	8549	380	TILLES
269	gravière	6071	310	TILLES
270	gravière	7271	374	TILLES
271	gravière	94520	1549	TILLES
272	gravière	12115	530	TILLES
	1			HELLS

272	ara, iàra	24.445	0.53	
273	gravière	21415	852	TILLES
274	gravière	70766	1171	TILLES
275	gravière	58996	1123	TILLES
276	gravière	19931	832	TILLES
277	gravière	8056	414	TILLES
278	gravière	24377	954	TILLES
279	gravière	8762	444	TILLES
280	gravière	17976	605	TILLES
281	gravière	12446	471	TILLES
282	gravière	10561	438	TILLES
283	gravière	4702	274	TILLES
284	gravière	2443	198	TILLES
285	gravière	2037	195	TILLES
286	gravière	38489	891	TILLES
287	gravière	6448	452	TILLES
288	gravière	51093	1119	TILLES
289	gravière	19559	1262	TILLES
290	gravière	33280	847	TILLES
291	gravière	8911	475	TILLES
292	gravière en activité	8946	562	TILLES
293	gravière	54274	982	TILLES
294	gravière	16533	702	TILLES
295	gravière	4211	264	TILLES
296	étang	6692	351	TILLES
297	gravière	42089	818	TILLES
298	gravière	2293	218	TILLES
299	gravière en activité	772	167	TILLES
300	gravière en activité	682	186	TILLES
301	gravière en activité	972	207	TILLES
302	gravière en activité	581	215	TILLES
303	gravière	5909	402	TILLES
304	gravière	4927	325	TILLES
305	gravière	8217	407	TILLES
306	gravière	8660	377	TILLES
307	gravière	18487	598	TILLES
308	gravière	23540	610	TILLES
309	gravière	4714	329	TILLES
310	gravière	17577	745	TILLES
311	gravière	22512	657	TILLES
312	gravière	13221	653	TILLES
313	gravière	18063	722	TILLES
314	gravière	19624	815	TILLES
315	gravière	7788	467	TILLES
316	gravière	9670	500	TILLES
317	gravière	73872	1266	TILLES
318	gravière en activité	5034	379	TILLES
	1			TILLLJ

	I 10			
319	gravière en activité	2242	216	TILLES
320	gravière en activité	4688	283	TILLES
321	gravière en activité	1817	212	TILLES
322	gravière	5586	401	TILLES
323	gravière	2561	313	TILLES
324	gravière	1394	294	TILLES
325	gravière	1740	303	TILLES
326	gravière	1879	290	TILLES
327	gravière	1805	291	TILLES
328	gravière	1964	318	TILLES
329	gravière	1233	266	TILLES
330	gravière	1650	253	TILLES
331	gravière	2192	313	TILLES
332	gravière	2077	319	TILLES
333	gravière	2118	333	TILLES
334	gravière	1431	307	TILLES
335	gravière	1592	302	TILLES
336	gravière	2295	342	TILLES
337	gravière	1677	341	TILLES
338	gravière en activité	4666	394	TILLES
340	gravière en activité	26878	855	TILLES
341	gravière en activité	55213	1739	TILLES
342	gravière	49341	1300	TILLES
343	gravière en activité	100400	1692	TILLES
344	gravière	3927	362	TILLES
345	gravière	910	119	TILLES
346	gravière	2480	290	TILLES
347	gravière	585	106	TILLES
348	gravière	287	76	TILLES
349	gravière	1938	248	TILLES
350	gravière	3359	244	TILLES
351	gravière	3548	268	TILLES
352	gravière	2778	254	TILLES
353	gravière	1153	209	TILLES
354	gravière en activité	21332	829	OUCHE
355	gravière en activité	49659	1255	OUCHE
356	gravière	17030	636	OUCHE
357	gravière	933	118	OUCHE
358	gravière	7542	769	OUCHE
359	gravière	7707	486	OUCHE
360	gravière	11180	708	OUCHE
361	gravière en activité	21410	632	OUCHE
362	gravière	2908	408	OUCHE
363	gravière	59361	1083	OUCHE
364	étang	20089	1117	OUCHE
365	gravière en activité	10563	489	OUCHE
	1 -			COULT

260	graviàra	6607	240	
366	gravière	6687	349	OUCHE
367	étang	35509	1038	TILLES
368	étang	4655	329	TILLES
369	étang	1919	185	TILLES
370	étang	89167	1599	TILLES
371	étang	37203	1076	TILLES
372	gravière en activité	1780	188	TILLES
373	gravière en activité	998	143	TILLES
374	gravière	9702	402	TILLES
375	étang	5573	430	VOUGE
376	étang	10940	484	OUCHE
377	étang	136757	1469	TILLES
378	gravière en activité	4493	263	TILLES
379	gravière en activité	3611	284	TILLES
380	gravière en activité	2233	195	OUCHE
381	gravière en activité	1764	199	OUCHE
382	étang	356	81	TILLES
383	gravière	4155	371	VOUGE
384	gravière	2029	202	OUCHE
385	gravière en activité	4689	332	VOUGE
386	gravière en activité	2234	222	VOUGE
387	gravière en activité	97409	1667	VOUGE
388	gravière en activité	1179	227	VOUGE
389	gravière en activité	1434	175	VOUGE
390	gravière en activité	1071	162	VOUGE
391	gravière en activité	741	166	VOUGE
392	gravière en activité	4712	383	VOUGE
393	gravière	2899	247	VOUGE
394	gravière	4180	263	VOUGE
395	gravière	2813	243	VOUGE
396	gravière	2561	202	VOUGE
397	gravière	6297	448	VOUGE
398	gravière	817	120	VOUGE
399	gravière	1547	180	VOUGE
400	gravière	2224	188	VOUGE
401	gravière	3229	235	VOUGE
402	gravière	1513	215	VOUGE
403	gravière	4014	258	VOUGE
404	gravière	5884	337	VOUGE
405	gravière	3497	271	VOUGE
406	gravière	275	72	VOUGE
407	gravière	7929	382	VOUGE
408	gravière en activité	68839	1306	VOUGE
409	gravière en activité	118	50	OUCHE
410	gravière en activité	51702	1116	VOUGE
411	gravière en activité	1150	145	VOUGE
	0		1	VOUGE

412	gravière en activité	35478	880	VOLICE
413	gravière	24993	859	VOUGE
414	gravière	25771	713	VOUGE
415	gravière	4758	329	VOUGE
416	gravière	6026	353	VOUGE
417	gravière	3691	244	VOUGE
417	gravière	2253	198	VOUGE
418		2264	198	VOUGE
419	gravière		184	VOUGE
420	gravière	1560 8579	383	VOUGE
	gravière			VOUGE
422	gravière	12542	439	VOUGE
423	gravière	6343	315	VOUGE
424	gravière en activité	30271	824	VOUGE
425	gravière en activité	1887	162	VOUGE
426	gravière en activité	1116	154	VOUGE
427	gravière	25763	826	VOUGE
428	gravière en activité	15114	683	VOUGE
429	gravière en activité	10644	627	VOUGE
430	gravière en activité	279	83	VOUGE
431	gravière en activité	9808	450	VOUGE
432	gravière	68587	1463	VOUGE
433	gravière	4749	337	VOUGE
434	gravière	11245	490	VOUGE
435	gravière	4434	415	VOUGE
436	gravière	2501	239	VOUGE
437	gravière	2412	332	VOUGE
438	gravière	12526	640	VOUGE
439	gravière	7249	534	VOUGE
440	gravière en activité	2501	329	VOUGE
441	gravière	616	141	VOUGE
442	gravière	477	88	VOUGE
443	gravière	869	156	VOUGE
444	gravière	2411	230	VOUGE
445	gravière	1209	200	VOUGE
446	gravière	681	120	VOUGE
447	gravière	1622	290	VOUGE
448	gravière	671	144	VOUGE
449	gravière	559	153	VOUGE
450	gravière	540	133	VOUGE
451	gravière	229	56	VOUGE
452	gravière en activité	45277	1083	VOUGE
453	gravière	3537	279	VOUGE
454	gravière	7694	580	VOUGE
455	gravière	8442	601	VOUGE
456	gravière	1063	134	VOUGE
457	gravière	1132	173	VOUGE
	<u> </u>		: •	V O O O L

458	gravière en activité	8062	414	VOLICE
459	gravière	2275	235	VOUGE
460	gravière en activité	958	127	VOUGE
461	gravière	5267	382	OUCHE
462	gravière	4650	340	VOUGE
462	gravière	1187	143	VOUGE
463			250	VOUGE
465	gravière	2656 6553	326	VOUGE
466	gravière	8704	368	VOUGE
467	gravière	3773	445	OUCHE
	gravière on activité			OUCHE
468	gravière en activité	821	116	OUCHE
469	gravière en activité	10325	415	OUCHE
470	gravière	104051	1527	OUCHE
471	gravière	58760	1204	OUCHE
472	gravière en activité	23046	797	TILLES
473	gravière en activité	2571	261	TILLES
474	gravière en activité	249	71	OUCHE
475	gravière en activité	151	50	OUCHE
476	gravière en activité	99	49	OUCHE
477	gravière	2806	250	TILLES
478	gravière	2712	261	TILLES
479	gravière	738	111	TILLES
480	gravière	3314	225	TILLES
481	gravière	31371	970	OUCHE
482	gravière	372	74	VOUGE
483	gravière	248	70	VOUGE
484	gravière	5060	352	VOUGE
485	gravière	2472	210	VOUGE
486	gravière	2214	315	VOUGE
487	gravière	6342	384	VOUGE
488	gravière	23334	648	VOUGE
489	gravière	358	75	VOUGE
490	gravière	3033	276	VOUGE
491	gravière	2981	316	VOUGE
492	gravière en activité	2378	191	OUCHE
493	gravière en activité	961	125	OUCHE
494	gravière	10488	562	VOUGE
495	gravière	5627	434	VOUGE
496	gravière	8567	366	VOUGE
497	gravière	12402	446	VOUGE
498	gravière	5332	386	VOUGE
499	gravière	1535	245	VOUGE
500	gravière	2333	214	VOUGE
501	gravière	8628	393	VOUGE
502	gravière	1586	153	VOUGE
503	gravière	1533	206	VOUGE

504	gravière	1109	179	VOUGE
505	gravière	1132	173	VOUGE
506	gravière	2363	198	VOUGE
507	gravière	1492	247	VOUGE
508	gravière	52122	1686	
509	gravière	3228	258	VOUGE
510	gravière	4186	389	VOUGE
511	gravière	1372	186	VOUGE
512	gravière	5332	400	VOUGE
513	gravière en activité	40152	883	VOUGE OUCHE
514	gravière en activité	28963	1030	OUCHE
515	gravière	3123	346	OUCHE
516	gravière	36162	927	OUCHE
517	gravière	8677	452	
518	gravière	1757	166	OUCHE
519	gravière	11133	487	OUCHE
520	gravière	17067	868	OUCHE
521	gravière	7076	437	TILLES
522	gravière	1571	205	TILLES
523	gravière	39357	854	TILLES
524		5646	351	TILLES
525	gravière gravière en activité	25213	706	TILLES
526	gravière en activité	6132	387	TILLES
527	_	2637	272	TILLES
528	gravière	8501	368	TILLES
529	gravière	16898	595	TILLES
530	gravière	15300	492	TILLES
531	gravière	3641	252	TILLES
531	gravière gravière	4357	312	TILLES
533			366	TILLES
534	gravière gravière	6722 6662	338	TILLES
535	gravière	14788	646	TILLES
	_			TILLES
536 537	gravière gravière	3790 1448	334 165	TILLES
537	_			TILLES
538	gravière	2542 3748	209	TILLES
	gravière	1362	255	TILLES
540	gravière	5002	207	TILLES
541	gravière		326	TILLES
542	gravière	3561	278	TILLES
543	gravière	261307	2278	TILLES
544	gravière	6671	321	VOUGE
545	gravière	5357	386	TILLES
546	étang	83999	2021	VOUGE
546	étang	64126	1345	VOUGE
547	étang	722950	6631	OUCHE
548	étang	144488	2872	OUCHE

549	étang	1285129	4239	OUCHE
550	étang	4296	460	TILLES
551	étang	2374	397	TILLES
552	étang	2750	223	TILLES
553	étang	2351	204	TILLES
554	étang	8263	401	TILLES
555	étang	7653	361	TILLES
556	étang	9153	413	TILLES
557	étang	9480	392	TILLES
558	étang	7653	360	TILLES
559	étang	2303	210	TILLES
560	étang	595	95	TILLES
561	étang	10358	489	TILLES