



SYNDICAT MIXTE SERAN

Bassin versant du Séran (01)

Etude de détermination des volumes maximum prélevables :

Phase 1 : impacts des prélèvements et quantification des ressources existantes

Rapport de Phase 1

Réf : CEAUCE141312 / REAUCE01332

MFN - NTR / SGE / CM

17/06/2015



www.burgeap.fr

SYNDICAT MIXTE SERAN

Bassin versant du Séran (01)

Phase 1 : impacts des prélèvements et quantification des ressources existantes

Rapport de Phase I : impacts des prélèvements et quantification des ressources existantes

Ce rapport a été rédigé avec la collaboration de : Nicolas Tribouillard

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport provisoire	05/03/2015	01	N. TROTIER N. TRIBOUILLARD		S.GRANGE			
Rapport final	17/06/2015		N. TROTIER N. TRIBOUILLARD		S.GRANGE			

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CEAUCE141312 / REAUCE01332
Numéro d'affaire :	A29136
Domaine technique :	ES01
Mots clé du thésaurus	MODELISATION NAPPE ALLUVIALE PRELEVEMENT ZONE HUMIDES

BURGEAP Agence Centre Est – site de Grenoble
2 rue de la tour de l'eau 38400 Saint-Martin-d'Hères
Tél. 33 (0)4 76 00 75 50 • Fax 33 (0)4 76 00 75 59
agence.de.grenoble@burgeap.fr

Réf : CEAUCE141312 / REAUCE01332	
MFN - NTR / SGE / CM	
17/06/2015	Page 2/142

SOMMAIRE

1.	Introduction	7
1.1	Objectifs de l'étude	7
1.2	Rappel des principaux résultats de l'étude d'EMA Conseils.....	7
1.2.1	Etat d'avancement de la détermination des volumes prélevables.....	7
1.2.2	Etat d'avancement de la détermination des zones majeures pour l'AEP	13
1.3	Organisation de l'étude BURGEAP	14
2.	Bibliographie consultée	15
3.	Travail préalable à la modélisation.....	17
3.1	Périodes de calage	17
3.2	Prélèvements.....	17
3.2.1	AEP.....	17
3.2.2	Irrigation.....	18
3.2.3	Autres (PAC, industrie)	18
3.3	Recharge.....	19
3.3.1	Pluie efficace	19
3.4	Rivières	21
3.4.1	Rhône	21
3.4.2	Séran	21
3.5	Piézomètres de contrôle.....	23
3.5.1	Liste des piézomètres utilisés.....	23
3.6	Note sur la zone d'Artemare.....	25
4.	Construction du modèle.....	32
4.1	Limites du domaine modélisé	32
4.2	Architecture du maillage	32
4.3	Conditions aux limites du modèle.....	33
4.4	Prélèvements en nappe	35
4.5	Alimentation de la nappe	36
4.6	Piézomètres.....	37
4.7	Perméabilité des formations aquifères.....	37
5.	Calage du modèle	39
5.1	Calage en régime permanent	39
5.1.1	Méthodologie.....	39
5.1.2	Piézométrie	39
5.1.3	Bilan des flux.....	43
5.1.4	Tests de sensibilité en régime permanent.....	44
5.2	Calage hydrodynamique en régime transitoire	51
5.2.1	Calage à court terme sur les essais de pompage.....	51
5.2.2	Calage long terme.....	58
6.	Analyse prospective par simulations	70
6.1	Approche méthodologiques	70
6.2	Présentation des simulations effectuées	70
6.3	Simulation 1 – Baisse de la recharge.....	71

6.3.1	Description	71
6.3.2	Impact piézométrique	71
6.3.3	Echanges nappe - Séran	74
6.4	Simulation 2 - Doublement des prélèvements	77
6.4.1	Description	77
6.4.2	Impact piézométrique	77
6.5	Simulation 3 – Incision du Séran	80
6.5.1	Description	80
6.5.2	Impact piézométrique	80
6.6	Simulation 4 – Année critique	83
6.6.1	Description	83
6.6.2	Impact piézométrique	84
7.	Reconstitution de la piézométrie non influencée	87
8.	Conclusions de la Phase I	90

FIGURES

Figure 1 :	Sous-bassins-versants et points stratégiques de calcul du module (EMA conseil).....	10
Figure 2 :	Détermination de la recharge	20
Figure 3 :	Profil en long du lit du Séran.....	22
Figure 4 :	Carte des piézomètres retenus	24
Figure 5 :	Localisation des panneaux électrique réalisés par EHC en 2003	28
Figure 6 :	Résultats des panneaux électriques réalisés par EHC en 2003	29
Figure 7 :	Résultats du traçage entre les eaux du Séran et le puits F4 (EHC, 2004).....	30
Figure 8 :	Suivis piézométriques, limnimétriques et pluviométriques entre aout 2003 et aout 2004 (EHC, 2004)	31
Figure 9 :	Coupe transversale schématique du modèle (axe Est/Ouest)	33
Figure 10 :	Limites du modèle	34
Figure 11 :	Réseau de drainage.....	35
Figure 12 :	Carte des perméabilités pour chaque couche	38
Figure 13 :	Piézométrie calculée (mNGF) en régime permanent sur la couche supérieure (Valeur moyenne 2004-2010)	40
Figure 14 :	Piézométrie calculée (mNGF) en régime permanent sur la couche inférieure (Valeur moyenne 2004-2010)	41
Figure 15 :	Carte des différences de charge entre aquifères en régime permanent (Valeur moyenne 2004-2010)	42
Figure 16 :	Bilan hydraulique de la nappe en régime permanent	43
Figure 17 :	Piézométrie test drains supprimés.....	45
Figure 18 :	Piézométrie test capacité drains x 2	46
Figure 19 :	Piézométrie test capacité drains x 5	47
Figure 20 :	Piézométrie apports karst à 0	49
Figure 21 :	Piézométrie apports karst x 5	50
Figure 22 :	Essai pompage Artemare – Test de sensibilité.....	52
Figure 23 :	Essai pompage Artemare – Niveaux nappe mesurés	53
Figure 24 :	Essai pompage Artemare – Niveaux nappe calculés	53
Figure 25 :	Essai pompage Béon – Niveaux nappe mesurés (rapport CPGF 11-066, complété)	55
Figure 26 :	Essai pompage Béon – Niveaux nappe calculés	56

Figure 27 : Essai pompage Ceyzérieu – Niveaux nappe mesurés	57
Figure 28 : Essai pompage Ceyzérieu – Niveaux nappe calculés	58
Figure 29 : Artemare – Plan des zones de bilan (modélisation).....	59
Figure 30 : Artemare – Flux rivière vers nappe (modélisation).....	60
Figure 31 : Artemare – Apports du karst (modélisation).....	60
Figure 32 : Artemare – Chronique piézométrique 1991/1996.....	62
Figure 33 : Artemare – Niveau piézométrique calculé	62
Figure 34 : Artemare – Niveaux piézométriques observés par EHC	63
Figure 35 : Artemare – Niveau piézométrique calculé – augmentation des apports du karst (5 fois le débit de calage et hypothèse EHC 2004)	64
Figure 36 : Lavours – Comparaison piézométrie calculée/mesurée.....	68
Figure 37 : Secteur Rhône – Comparaison piézométrie calculée/mesurée.....	69
Figure 38 : Simulation1 Evolution piézométrique.....	72
Figure 39 : Simulation1 Carte d'incidence piézométrique – couche inférieure.....	73
Figure 40 : Localisation des bilans Séran.....	74
Figure 41 : Echanges nappe – rivière Etat de référence	75
Figure 42 : Echanges nappe – rivière Simulation 1	76
Figure 43 : Simulation2 Evolution piézométrique.....	78
Figure 44 : Simulation 2 Carte d'incidence piézométrique – couche inférieure.....	79
Figure 45 : Simulation 3 Carte d'incidence piézométrique nappe supérieure	81
Figure 46 : Simulation 3 Carte d'incidence piézométrique nappe inférieure.....	82
Figure 47 : Simulation 4 Evolution piézométrique.....	85
Figure 48 : Simulation 4 Carte d'incidence piézométrique nappe inférieure.....	86
Figure 49 : Incidence piézométrique entre situation de calage et situation non influencée par les pompages.....	87
Figure 50 : Piézométrie non influencée par les pompages nappe supérieure.....	88
Figure 51 : Piézométrie non influencée par les pompages nappe inférieure	89

TABLEAUX

Tableau 1 : Diagnostic sur l'évaluation des prélèvements par EMA Conseils.....	8
Tableau 2 : Volumes prélevés estimas par EMA et validés en 2011	9
Tableau 3 : Diagnostic sur les données quantitatives recueillies par EMA Conseils.....	9
Tableau 4 : Comparaison des pressions quantitatives par sous bassin versant par EMA Conseils	11
Tableau 5 : Evaluation des pressions quantitatives par EMA Conseils	12
Tableau 6 : Résultats des impacts quantitatifs par EMA Conseils	13
Tableau 7 : Résultats des débits minimum biologiques par EMA Conseils	13
Tableau 8 : Bibliographie consultées.....	15
Tableau 9 : Valeurs retenues pour les prélèvements AEP (base redevances Agence de l'Eau)	18
Tableau 10 : Valeurs retenues pour les prélèvements industriels (base redevances Agence de l'Eau).....	18
Tableau 11 : Débits du Seran à la Bavosière (en l/s) à pas mensuel.....	21
Tableau 12 : Mesures des débits d'étiage entre 30/07 et le 10/09/1966 (rapport Hydratec de 1996)	26
Tableau 13 : Prélèvements dans la nappe (d'après base de données EMA Conseil)	36
Tableau 14 : Bilan des flux en régime permanent	43
Tableau 15 : Bilan test drains supprimés.....	45
Tableau 16 : Bilan test capacité drains x 2	47
Tableau 17 : Bilan test capacité drains x 5	48
Tableau 18 : Bilan apports karst à 0	49

Tableau 19 : Bilan apports karst x 5	51
Tableau 20 : Estimation de la recharge à Artemare - Hypothèses de BURGEAP (1966) et EHC (2004)	63
Tableau 21 : Tests de sensibilité sur la recharge à Artemare.....	64
Tableau 22 : Recharge 2004/2010.....	71
Tableau 23 : Echanges moyens Simulation 1	77
Tableau 24 : Simulation 3 Bilan des flux.....	83

ANNEXES

- Annexe 1. Contour du domaine modélisé
- Annexe 2. Localisation des piézomètres et des sources de prélèvements
- Annexe 3. Catalogue des données existantes

1. Introduction

1.1 Objectifs de l'étude

La demande formulée du Syndicat mixte S.E.R.A.N s'intègre dans la démarche des études complémentaires nécessaires au dossier définitif du contrat de rivière du bassin versant du Séran. L'étude répond à deux objectifs majeurs.

- 1) La détermination des volumes maximums prélevables dans le bassin versant du Séran.

L'étude a pour objectifs principaux :

- la détermination des prélèvements totaux et de leur évolution ;
 - la quantification des ressources existantes ;
 - la détermination ou révision des niveaux seuils aux points stratégiques de référence :
 - Débit d'objectif d'étiage (DOE) : débit pour lequel sont simultanément satisfaits le bon état des eaux et, en moyenne, huit années sur dix, l'ensemble des usages
 - Débit de crise renforcée (DCR) : débit en-dessous duquel seuls les prélèvements pour l'alimentation en eau potable, la sécurité des installations sensibles et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaits
 - Niveau piézométrique d'alerte (NPA) : niveaux piézométriques de début de conflits d'usages et de premières limitations de pompages. Dans le cadre de cette étude, un complément est apporté à cette définition : on considèrera que ce niveau doit aussi garantir le bon fonctionnement quantitatif ou qualitatif de la ressource souterraine et des cours d'eau qu'elle alimente dans le respect des DOE des cours d'eau
 - Niveau piézométrique de crise renforcée (NPCR) : niveau à ne jamais dépasser et donc d'interdiction des pompages à l'exception de l'alimentation en eau potable, qui peut faire l'objet de restrictions. Dans le cadre de cette étude, un complément est apporté à cette définition : on considèrera que c'est aussi la côte du niveau de la nappe en-dessous de laquelle est mise en péril la survie des milieux aquatiques qu'elle alimente, dans le respect des DCR.
- 2) La caractérisation des secteurs de la nappe des alluvions du marais de Lavours à faire valoir comme stratégiques dans le but de les préserver pour l'alimentation future en potable.

1.2 Rappel des principaux résultats de l'étude d'EMA Conseils

1.2.1 Etat d'avancement de la détermination des volumes prélevables

La demande s'intègre dans une démarche déjà engagée en 2011 avec le groupement EMA Conseils et Eaux et Territoires pour la détermination des volumes maximums prélevables. L'étude volume prélevable a été menée jusqu'à la phase 4 par le groupement, ont donc été réalisés :

- phase 1 : inventaire des prélèvements, rejets et transferts d'eau
- phase 2 : inventaire des ressources en eau
- phase 3 : étude de l'impact hydrologique des pressions quantitatives sur les ressources

- phase 4 : détermination des débits biologiques

Les paragraphes suivants dressent les principaux résultats ainsi qu'une critique de l'étude afin d'identifier les points à approfondir pour la poursuite de la démarche.

L'inventaire des prélèvements en phase 1 a fait l'objet d'un travail rigoureux de collecte de données.

Le Tableau 1 suivant présente la méthodologie employée et les éventuels compléments à apporter pour une actualisation des données. Il semble toutefois que de nouvelles données (2010 et 2013) n'apportent pas de plus-value pour la construction du modèle et la détermination des débits et niveaux de référence.

Tableau 1 : Diagnostic sur l'évaluation des prélèvements par EMA Conseils

Prélèvements	Sources de données	Méthodologie	Critique de la méthodologie	Validité des résultats	Evolution
Eau publique	- ARS 01 - schéma directeurs AEP - enquête auprès des EPCI producteurs - redevances AE	Volume moyen annuel : moyenne 2008/2010 Volume max annuel : max sur 2002/2010 Volume moyen mensuel étiage : modèle de répartition intermensuel 2008/2010 Volume max mensuel étiage : application coef de pointe 2002/2010	2008/2010 : années avec peu de précipitations 2008/2010 : étiages importants	ok sauf si besoin d'actualiser avec volume 2010/2012 hypothèse maximisante (prélèvements certainement plus importants dans cette hypothèse)	Projections SDAEP Prolongation évolution population 1999/2025 Amélioration des rendements
Irrigation	- DDT 01 - redevances AE - enquêtes auprès d'agriculteurs irrigants	Volume moyen/max annuel : sur la base des tours d'eau effectués par les agriculteurs Volume moyen/max mensuel étiage : irrigation uniquement en période d'étiage, juillet plus critique	ok	ok	Légère variation des surfaces irriguées pas d'évolution de l'irrigation
Industriel	- redevances AE	Volume moyen annuel : moyenne 2007/2009 Volume max annuel : max depuis 1999 Volume moyen mensuel étiage : prélèvement constant Volume max mensuel étiage : application coef de pointe	évolution des prélèvements	ok sauf si besoin d'actualiser	Légère variation des besoins pas d'évolution de l'irrigation
Prélèvements diffus	-	hypothèses de calcul	sans importance car valeurs non utilisées ensuite		non défini
Rejets	Sources de données	Méthodologie	Critique de la méthodologie	Validité des résultats	Evolution
STEP	-	hypothèse de calcul	ok	ok	non défini
Fuites de réseaux	-	uniquement hypothèses de travail - données non intégrées ensuite dans la		détermination de l'impact sur la	non défini
Canal Laval	-	hypothèse de calcul	ok	ok	non défini

Les données utilisées dans la suite seront donc celles fournies par EMA et Eaux et Territoires, données validées par l'Agence de l'eau, dont la synthèse se trouve dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Volumes prélevés estimés par EMA et validés en 2011

NOMBRE DE POINTS		USAGE				
ORIGINE EAU	TYPE OUVR	Canal (agrément, arrosage)	Eau industrielle	Eau publique	Irrigation	Total
Eaux souterraines (nappe)	Forage		1			1
	Puits		1	9	14	24
	Total eaux sout.		2	9	14	25
Eaux superficielles	Pompe cours d'eau				2	2
	Prise canal	1				1
	Source captée			27		27
	Total eaux superf.	1		27	2	30
Total général		1	2	36	16	55

VOLUMES EN millions de m³	Canal (agrément, arrosage)	Eau industrielle	Eau publique	Irrigation	Total (hors canal Laval)
Vol. moy. Annuel actuel	4,7	1,6	2,3	0,22	4,1
Vol. max. Annuel depuis 2001	4,7	3,3	3,1	0,38	6,8
Vol. moy. Mensuel juin-septembre actuel	0,03	0,13	0,19	0,09	0,41
Vol. max. Mensuel juin-septembre depuis 2001	0,03	0,16	0,31	0,25	0,72

La phase 2 dresse tout d'abord un état des lieux des données d'entrée disponibles :

- Pour la climatologie, les données d'entrée proviennent de 4 stations pluviométriques du territoire.
- Pour l'hydrométrie, les données d'entrée viennent de 3 stations hydrométriques présentes sur le bassin versants, de 4 campagnes de jaugeages réalisés par la DIREN entre 1996 et 2000, et de jaugeages en 20 points réalisés au cours de l'étude.
- Pour la piézométrie, les données d'entrée proviennent d'un réseau de piézomètres conséquent sur la zone d'étude.

A partir de ces données, plusieurs paramètres ont pu être établis selon le Tableau 3.

Tableau 3 : Diagnostic sur les données quantitatives recueillies par EMA Conseils

Domaine technique	Sources de données	Paramètres	Méthodologie employée	Critique de la méthodologie / compléments à apporter
Climatologie	3 stations météorologiques	ETP moyenne Précipitations moyennes	Méthode des polygones de Thiessen	ok
Hydrométrie	3 stations hydrométriques	Débits moyens (Q) Débits caractéristiques d'étiages (QMNAx, VCNx)	-	Données supplémentaires à rechercher : hauteur d'eau
	4 campagnes de jaugeage DIREN	Débits caractéristiques d'étiages (QMNA5)	-	-
	2 campagnes de jaugeages CINCLE (20 points)	Débits caractéristiques d'étiage aux points de jaugeage (QMNAx, VCNx) Débits moyens et caractéristiques d'étiage aux points stratégiques (Q, QMNAx, VCNx)	Méthode du ratio + interpolation linéaire Relation de Meyer	ok ok
Piézométrie	Piézomètres manuels CNR (24) Piézomètres manuels EID (23) Piézomètres enregistreurs CNR (5) Piézomètres enregistreurs EID (6)	Choix des PS de référence (5 doublets et 3 piézomètres)	Analyse comparative des différents piézomètre sur fiabilité et pertinence des suivis (chroniques piézométriques)	ok, à corréliser avec hauteur de lame d'eau dans les cours d'eau

Les données disponibles pour évaluer l'état de la ressource en eau sont globalement pertinentes et utilisables en l'état. Le bilan annuel simplifié de la ressource en eau sur le territoire, a permis de mettre en évidence les pressions quantitatives (Tableau 1) par sous-bassins-versants (Figure 1).

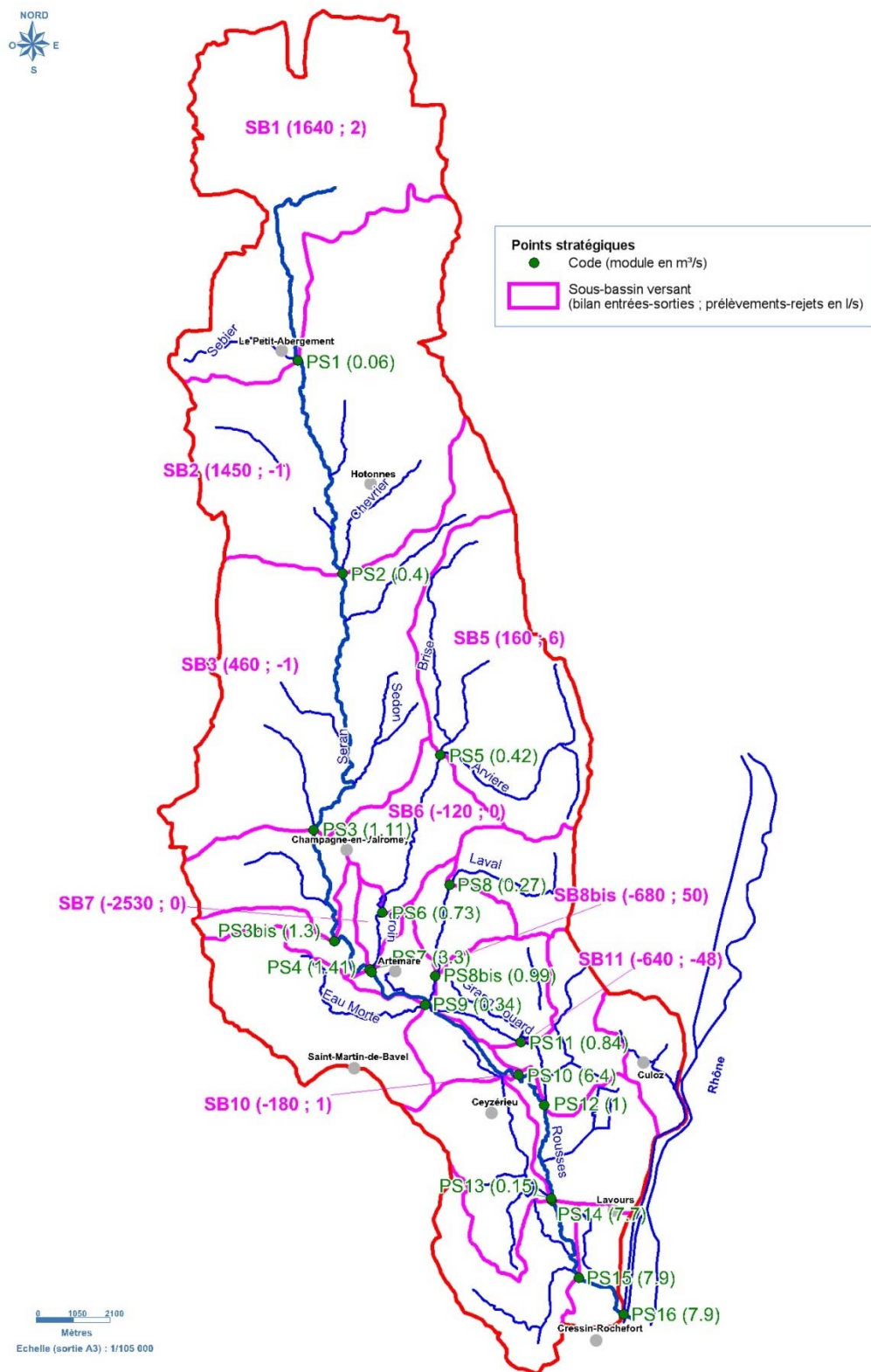


Figure 1 : Sous-bassins-versants et points stratégiques de calcul du module (EMA conseil)

Tableau 4 : Comparaison des pressions quantitatives par sous bassin versant par EMA Conseils

Code	ID_SBV	Surface SBV (km²)	Composantes du bilan hydrologique par sous-bassin versant (millions de m³)						
			P _{eff}	V _{sup}	V _{sout}	Prélèvements	Rejets	Bilan	
								En Mm³	En l/s
PS1	SB1	45.4	54	2	0.13	0.11	0.03	52	1.6
PS2	SB2	53.6	56	13	0.09	0.00	0.03	46	1.5
PS3	SB3	49.0	37	35	0.05	0.00	0.02	15	0.5
PS3bis	SB3bis	9.8	6	41	0.05	0.08	0.01	-0.3	0.0
PS4	SB4	4.8	3	44	1.14	1.17	0.00	-3	-0.1
PS5	SB5	29.6	19	13	0.25	0.18	0.01	5	0.2
PS6	SB6	10.0	6	23	0.08	0.02	0.04	-4	-0.1
PS7	SB7	2.0	1	103	1.14	0.00	0.00	-80	-2.5
PS8	SB8	7.6	5	9	0.30	0.01	0.01	-4	-0.1
PS8bis	SB8bis	5.2	3	31	0.49	1.58	0.00	-21	-0.7
PS9	SB9	17.1	10	11	0.09	0.13	0.06	-0.7	0.0
PS10	SB10	7.1	4	202	0.14	0.09	0.05	-6	-0.2
PS11	SB11	8.2	5	27	0.14	0.09	1.62	-20	-0.6
PS12	SB12	8.6	5	32	0.14	0.04	0.00	-0.2	0.0
PS13	SB13	11.6	5	5	0.04	0.05	0.04	0.1	0.0
PS14	SB14	10.3	5	243	0.28	0.00	0.00	0.1	0.0
PS15	SB15	12.2	5	248	0.21	0.00	0.04	-0.1	0.0
PS16	SB16	4.6	2	250	0.07	0.30	0.02	-0.5	0.0
PS17	SB17	5.9	3	253	0.07	1.73	0.00	-2	-0.1

L'impact des pressions quantitatives (Tableau 5) sur les ressources en eau déterminé en phase 3, a porté que sur les ressources superficielles et souterraines. Pour ces dernières, EMA a utilisé une approche analytique sur la base des débits prélevés, et vraisemblablement (pas de formule explicite) des perméabilités des terrains et des distances au Séran. Cette approche ne resitue pas l'impact sur la piézométrie globale du Séran, et présente un biez important quant à la réalité des échanges nappes/rivières et leur évolution sur un cycle hydrologique. Il n'était, il n'était pas prévu dans leur prestation de modélisation de la nappe, mais seulement un au cahier des charges du futur modèle.

Cette détermination s'est faite selon quatre étapes :

- identification des prélèvements et rejets pris en compte et de la période d'étude de référence,
- détermination du coefficient d'impact,
- calcul des débits prélevés et rejetés,
- reconstitution de l'hydrologie non influencée et évaluation de l'impact des pressions quantitatives.

L'ensemble de ces parties et de leur contenu technique ont fait l'objet d'une validation du COPIL. On peut donc admettre que les résultats de la phase 3 ne nécessitent pas de mise à jour ou de complément concernant les ressources en eau superficielle. En revanche, notre travail amènera des remarques et des critiques constructives sur la prise en compte de la nappe (modélisation) : impacts des prélèvements, échanges nappe/rivière.

L'impact des pressions quantitatives sur les ressources en eau souterraine font l'objet de la présente étude.

Tableau 5 : Evaluation des pressions quantitatives par EMA Conseils

Paramètres	Sources de données	Méthodologie	Critique de la méthodologie
prélèvements et rejets	prélèvements et rejets identifiés (phase 1)	tous prélèvements et rejets sauf "diffus"	ok au vu des faibles valeurs représentant le diffus
période de référence	période 2007-2010	étiage : juin-septembre mois critique : juillet	ok, pas besoin de réactualiser avec des données plus récentes
coefficient d'impact	relation identifiés entre les BV (phase 2)	Détermination des impacts directs et indirects (différé et réduit)	ok car pris en compte de l'hydrologie (assec) et du système karstique
débits prélevés ou rejetés	débit moyen d'étiage (Q estival) débit moyen mensuel max (QMNA5 mens) débit max sur 3 jours (VCN3)	Q / période considérée QMNA4 / période considéré plusieurs hypothèses de calcul	ok ok ok
hydrologie non influencée	débits prélevés ou rejetés (ci-dessus) débits caractéristiques influencés aux PS (phase 2)	ajout de la différence entre prélèvements et rejets aux débits caractéristiques influencés	ok car reprise des débits caractéristiques sur épirode identifiée aux calculs des pressions (2002-2010) Cumul des pressions maximales sur les trois mois d'étiage : hypothèse maximisante

Les résultats de l'impact des pressions quantitatives sur la ressource en eau superficielle sont résumés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Résultats des impacts quantitatifs par EMA Conseils

Code	Nom	Qété (%)	Débits de référence d'étiage (%)			
			QMNA 2	QMNA 5	VCN3 2	VCN3 5
PS3bis	Le Séran à Belmont-Luthézieu (station hydro)	0,6%	25%	66%	71%	83%
PS4	Le Séran en amont de l'Arvière	0,5%	18%	57%	63%	77%
PS6	L'Arvière en amont du Groin	1,6%	12%	29%	49%	69%
PS7	Le Groin (Arvière) à Artemare	0,4%	7%	17%	32%	52%
PS4+PS7	Le Séran en aval du Groin	0,4%	9%	22%	38%	58%
PS10	Le Séran en amont des Rousses	1,7%	7%	17%	27%	52%
PS16	Le Séran à sa confluence avec le Rhône (exutoire)	-0,6%	1%	2%	3%	4%

La phase 4 a consisté en la détermination des débits minimum biologiques théoriques, selon la méthode ESTIMHAB. Celle-ci a été appliquée à 4 stations, puis complétée par un ensemble de données (hydrologie, qualité de l'eau, habitats piscicoles, etc.) afin d'aboutir à des valeurs de débits biologiques théoriques au niveau de PS listés dans le Tableau 7 :

Tableau 7 : Résultats des débits minimum biologiques par EMA Conseils

Code point de gestion	Nom du point de gestion	Rappel QMNA _s naturel (l/s)	Fourchette DMT au point stratégique primaire
PS3bis	Le Séran à Belmont-Luthézieu (station hydro)	5 [0-11]	50-100 l/s
PS4	Le Séran en amont de l'Arvière	15 [0-26]	50-80 l/s
PS6	L'Arvière en amont du Groin	22 [5-40]	30-70 l/s
PS7	Le Groin (Arvière) à Artemare	42 [15-74]	55-135 l/s
PS4+PS7	Le Séran en aval du Groin-Arvière	57 [15-100]	100-220 l/s
PS10	Le Séran en amont des Rousses	151 [48-253]	300-500 l/s

Les valeurs de DMT issus du travail d'EMA ont obtenus l'accord du COPIL. Etant donné leur forte probabilité de ne pas être respectées naturellement, les débits d'objectifs (DOE et DCR) devront donc également s'appuyer sur l'hydrologie reconstituée et l'impact des pressions quantitatives.

1.2.2 Etat d'avancement de la détermination des zones majeures pour l'AEP

L'étude réalisée par EMA et Eaux et Territoires comprend un paragraphe sur la définition de zones stratégiques. L'identification de ces zones repose sur le croisement entre les problèmes quantitatifs et les problèmes qualitatifs identifiés pour les sources captées et la nappe de Lavours.

Il en ressort que :

- les sources captées du bassin ne sont pas considérées comme des ressources stratégiques pour l'AEP car la faible connaissance de leur débit rend délicate toute projections sur la satisfaction des besoins futurs, de plus elles souffrent de pollutions bactériologiques chroniques ;
- la nappe de Lavours est confirmée en tant que ressource stratégique pour l'AEP au vu de l'amélioration possible des rendements et de la qualité des eaux (pollution bactériologique uniquement ponctuelle).

D'autre part, la zone d'étude qui s'étend sur la plaine de Lavours, jusqu'au Rhône, intègre le secteur de Culoz entre la rive droite du Rhône le Grand Colombier. Le secteur a fait l'objet d'une étude des ressources majeures de Chautagne Rhône amont en 2013/2014 pour le compte de l'Agence de l'Eau, réalisée par BURGEAP. Cette étude fait mention du captage AEP d'Artemare (captage de Cervevrieu) au pied du coteau calcaire comme point stratégique de la distribution de l'eau potable dans le Valromey. D'autre part, une méthodologie a été développée, qui pourra être retranscrite dans le cadre de la présente étude, pour la définition des ressources stratégiques sur le reste de la plaine de Lavours.

1.3 Organisation de l'étude BURGEAP

L'étude est décomposée selon les phases suivantes :

- PHASE 1 : Impact des prélèvements et quantification des ressources existantes
- PHASE 2 : Volumes prélevables, Débits d'objectifs d'étiages, Débits de Crises Renforcée et Niveaux Piézométriques en nappe
- PHASE 3 : Gestion quantitative de la ressource en eau et proposition d'un programme d'actions
- PHASE 4 : Détermination des zones stratégiques majeures pour l'alimentation en eau potable

2. Bibliographie consultée

Tableau 8 : Bibliographie consultées

Auteur(s)	Date	Titre	Thématique	Intérêt pour l'étude
Syndicat Mixte SERAN	01/09/2013	DOSSIER DEFINITIF DU CONTRAT DE RIVIERE DU BASSIN VERSANT DU SERAN (2014-2018)	Introduction générale + Etat des lieux	Introduction générale + Etat des lieux assez complet + objectifs SDAGE
Syndicat Mixte SERAN	01/07/2013	DOSSIER DEFINITIF DU CONTRAT DE RIVIERE DU BASSIN VERSANT DU SERAN - ATLAS CARTOGRAPHIQUE	Cartes (qualité, géologie, occupation sol)	Cartes synthétiques du rapport définitif
Syndicat Mixte SERAN	01/09/2013	DOSSIER DEFINITIF DU CONTRAT DE RIVIERE DU BASSIN VERSANT DU SERAN (2014-2018) - DOCUMENT DE SYNTHESE	Synthèse	Synthèse des deux documents précédents
SDAEP Est Ain	01/06/2013	Schéma directeur des communes de l'Est du département	Eau potable	Localisation des puits et sources (Figure 3)
SDAEP Est Ain	01/06/2013	Schéma directeur des communes de l'Est du département (secteur 4)	Eau potable	-
SDAEP Est Ain	01/06/2013	Schéma directeur des communes de l'Est du département (secteur 6)	Eau potable	-
SDAEP Est Ain	01/06/2013	Schéma directeur des communes de l'Est du département (secteur 10)	Eau potable	-
SDAEP Est Ain	01/06/2013	Schéma directeur des communes de l'Est du département (secteur 7)	Eau potable	-
Chambre d'Agriculture de l'Ain	2009	Schéma Directeur Départemental d'Irrigation - Phase 1	Irrigation	Pédologie + Météorologie + Inventaire des ressources + Loi sur l'eau
Chambre d'Agriculture de l'Ain	2009	Schéma Directeur Départemental d'Irrigation - Phase 2	Irrigation	-
Pöyry	janv-07	Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable - PHASE 1 et PHASE 2 Diagnostic de la situation actuelle et perspectives d'évolution	AEP	Evolution de la demande en eau potable + Ouvrages + Production + Consommation
Pöyry	janv-07	Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable - PHASE 4 ÉLABORATION DE SCENARI ET ETUDES TECHNICO-ECONOMIQUES	AEP	-
EnvHydro Consult	janv-05	Etude de vulnérabilité de la zone de captage de Cerveyrieu (01)	AEP	Description champ captant + Cadre géologique/hydrogéologique + Qualité des eaux
EnvHydro Consult	janv-05	Etude de diversification des ressources du Syndicat du Valromey (01)	AEP	Production captages + pédologie
EnvHydro Consult	janv-05	Etude de vulnérabilité de la zone de captage de Cerveyrieu de diversification des ressources du Syndicat du Valromey (01)	AEP	Rapport reprenant les deux précédents
B & R Ingénierie	01/07/2008	SCHEMA DIRECTEUR D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE PHASE 5 : Synthèse et schéma directeur eau potable	AEP	-
BURGEAP	nov-96	Etude de la nappe de Cerveyrieu - Potentiel et vulnérabilité	AEP	Contexte Géol, hydrogéol + champ captant
CPGF - Horizon	juil-13	Recherche des sources potentielles de pollution des eaux du puits de Ceyzerieu	AEP	Volumes produits + Qualité des eaux + Contexte hydro/climato/géol + Relation nappe/Séran
CPGF - Horizon	juil-12	Etude hydrogéologique préalable à l'avis de l'hydrogéologue agréée dans le cadre de l'instauration des périmètres de protection	AEP	Volumes produits + Qualité des eaux + Contexte hydrogéol + Essais pompage/traçage
CPGF - Horizon	déc-12	Etude hydrogéologique préalable à l'avis de l'hydrogéologue agréée dans le cadre de l'instauration des périmètres de protection - Note complémentaire	AEP	Cote des piézo
Etudes Techniques et Conseils « Eau - Milieux Aquatiques »	31/10/2006	Indicateurs régionaux d'évaluation des Contrats de Rivières et des SAGE de Rhône-Alpes	SAGE	-
Syndicat Mixte SERAN	janv-11	Diagnostic des peuplements piscicoles des cours d'eau du bassin versant du Séran (01)	Piscicole	Aménagements effectués sur le Séran
Syndicat Mixte SERAN	janv-11	Diagnostic des peuplements piscicoles des cours d'eau du bassin versant du Séran (01) - Annexes	Piscicole	Cartes à l'échelle du BV
Valromey Communauté de communes	01/04/2013	ETUDE HYDRAULIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU DU BASSIN VERSANT DU SERAN	Géomorphologie	Pluies + étiages + crues + tronçons hydrogéomorphologiques homogènes du Séran + Evolution du réseau hydrographique du Marais de Lavours
Hydratec	Nov-96	ETUDE GENERALE D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DU SERAN - PHASE 1 DIAGNOSTIC DU FONCTIONNEMENT GLOBAL DU COURS D'EAU	Hydrologie + hydrogéologie + Morphologie + qualité des eaux	Relations nappe/rivière
JEZEQUEL Céline	sept-07	Etude du fonctionnement hydrologique superficiel de la Réserve Naturelle du marais de Lavours (01)	Hydrologie + pédologie	Emplacement Drain + Perméabilité + Epaisseur tourbe (fichiers .ai dispo) + Conductivité
Teleos	01/05/2012	Etude de diagnostic physique des habitats aquatiques des cours d'eau du bassin versant du Séran	Habitats naturels	-
SOL-CONSEIL	01/01/2008	CARTOGRAPHIE DES SOLS DE L'AIN Programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) du Ministère de l'Agriculture FICHES DE SOLS	Pédologie	Epaisseur des couches superficielles (intérêt limité car faible profondeur)
SOL-CONSEIL	01/01/2008	CARTOGRAPHIE DES SOLS DE L'AIN Programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) du Ministère de l'Agriculture NOTICE EXPLICATIVE	Géologie + Pédologie	Coupes géologiques des grands ensembles

Auteur(s)	Date	Titre	Thématique	Intérêt pour l'étude
Natura 2000	01/01/2009	Plan de gestion de la Réserve Naturelle Nationale du Marais de Lavours	Environnement	-
Syndicat Mixte SERAN	janv-12	ÉTUDE DES ZONES HUMIDES DU BASSIN VERSANT DU SERAN: INVENTAIRE, DIAGNOSTICS ET PLANS D'ACTIONS	Zones humides + SDAGE	Recensement des zones humides
CONSEIL GENERAL DE L'AIN – AGENCE DE L'EAU RHÔNE-MEDITERRANEE-CORSE	févr-07	INVENTAIRE DES ZONES HUMIDES DU DEPARTEMENT DE L'AIN TOME I : RAPPORT PRINCIPAL	Zones humides	Recensement des zones humides
Syndicat Mixte SERAN	mars-13	Etat des lieux de l'assainissement des eaux usées du bassin versant du Séran	Assainissement	Recensement des ouvrages + Qualité des eaux rejetées
Syndicat Mixte SERAN	mars-13	Etat des lieux de l'assainissement des eaux usées du bassin versant du Séran - SYNTHÈSE CARTOGRAPHIQUE	Assainissement	Cartes liées au rapport précédent
EMA conseil	01/10/2012	Bilan de la gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin versant du Séran Étude de détermination des volumes maximums prélevables - Phase 1	Prélèvements et rejets	Recensement et quantification des prélèvements (AEP, irrigation, industries)
EMA conseil	01/12/2012	Bilan de la gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin versant du Séran Étude de détermination des volumes maximums prélevables - Phase 2	Ressources en eau	Climatologie - Jaugeages - Caractéristiques d'étiage - Piézométrie - Evolution des débits
EMA conseil	01/12/2012	Bilan de la gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin versant du Séran Étude de détermination des volumes maximums prélevables - Phase 3	Impact hydrologiques	Période de calage - Données importantes sur cette période
EMA conseil	01/04/2013	Bilan de la gestion quantitative de la ressource en eau sur le bassin versant du Séran Étude de détermination des volumes maximums prélevables - Phase 4	Débits biologiques	Recensement des habitats écologiques et de leur qualité
BURGEAP	avr-01	REHABILITATION DES GRANDS MARAIS DU HAUT-RHÔNE ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES MARAIS ET PLAINES DE LAVOURS ET DE CHAUTAGNE - Phase 1	Etat des lieux	Hydrogéologie et géologie générale+ Hydrographie + Relations nappe/rivière + Ressources en eau
BURGEAP	mars-02	REHABILITATION DES GRANDS MARAIS DU HAUT-RHÔNE ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES MARAIS ET PLAINES DE LAVOURS ET DE CHAUTAGNE - Phase 2	Investigations complémentaires	Caractérisation des aquifères et tourbe + Hydrographie + ressources en eau
BURGEAP	nov-02	REHABILITATION DES GRANDS MARAIS DU HAUT-RHÔNE ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES MARAIS ET PLAINES DE LAVOURS ET DE CHAUTAGNE - Phase 3	Modélisation	Conditions du modèle + Calage (permanent/transitoire) + Cas extrêmes
Jean-Louis Michelot	nov-02	REHABILITATION DES GRANDS MARAIS DU HAUT-RHÔNE ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES MARAIS ET PLAINES DE LAVOURS ET DE CHAUTAGNE - Phase 4	Générale	Suivi des réunions
Jean-Louis Michelot	sept-13	REHABILITATION DES GRANDS MARAIS DU HAUT-RHÔNE ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES MARAIS ET PLAINES DE LAVOURS ET DE CHAUTAGNE - Phase 5	Actions de préservation du milieu	
?	?	?	Démographie	Recensement + Evolution de la population dans les communes du BV du Séran
Minsitère de l'alimentation de l'agriculture et de la pêche	janv-09	L'agriculture Rhône-Alpes en 2009 - Annuaire de statistique agricole	Agriculture	Evolution des types de production agricole
Minsitère de l'alimentation de l'agriculture et de la pêche	janv-07	L'agriculture Rhône-Alpes en 2007 - Annuaire de statistique agricole	Agriculture	Evolution des types de production agricole
SI Valromeys	janv-12	Synthèse annuelle	Générale	-
TISSIER Grégory	nov-12	Ressource en eaux karstiques de montagne : analyse des impacts de l'anthropisation dans un contexte de changement climatique	Karst	Caractérisation et vulnérabilité des systèmes karstique
Karst 3E	13/05/2014	AMELIORATION DES CONNAISSANCES SUR LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS DU KARST DU VALROMEY-RETORD EN LIEN AVEC LES ENJEUX D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE ETUDE PRELIMINAIRE ET SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DU TRAÇAGE À LA GROTTÉ DE PRÉOUX ET À LA PERTE DES PLANS D'HOTONNES	Karst	Présentation sur des potentiels essais de traçage dans les karst du BV du Séran afin de mieux comprendre les écoulements dans cette région
Direction départementale des territoires - Service de gestion et de protection de l'Environnement	18/10/2012	INVENTAIRES RELATIFS AUX FRAYÈRES ET AUX ZONES D'ALIMENTATION OU DE CROISSANCE DE LA FAUNE PISCICOLE AU SENS DU L.432-3 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT	Piscicole	Liste des frayères
BRGM	oct-91	Sensibilité des captages d'eau potable à proximité des cours d'eau en région Rhône-Alpes	AEP	-
BRGM	10/10/1960	Rapport sur une étude Géophysique dans la région d'Artemare (Ain)	Géophysique	Coupes géologiques dans le secteur d'Artemare
DDAS	24/02/2009	Périmètre des captages	AEP	-
COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE	01/06/2014	Ressources en eau : perception et consommation des Français Résultats d'enquête	Eau	-
Stéphane Veyrat-Charvillon ; Alain Ponsero	01/01/1997	Modifications de l'hydrologie du Séran (affluent du Haut Rhône Français, Ain) de 1976 à 1995	Morphologie	Impact des aménagements sur le Séran
Mairie Lavours	25/04/2013	Schéma Directeur d'Eau Potable	AEP	-

3. Travail préalable à la modélisation

3.1 Périodes de calage

Plusieurs périodes distinctes ont été choisies pour caler le modèle en régime transitoire :

- Une période longue durée entre 2004 et 2010 ;
- Des épisodes courts en utilisant les essais de pompage effectués sur les captages AEP de Béon et Cezeyrieu en 2012 et 2013 ;
- Une période courte lors de l'essai de pompage sur la zone de captage AEP d'Artemare - Cerveyrieu datant de l'été 1996.

La période 2004/2010 a été choisie par EMA Conseil lors du bilan de toutes les données disponibles sur le secteur d'étude (phases 1 & 2). Cette période correspond à celle possédant le plus de données disponibles et pertinentes pour caractériser le fonctionnement du bassin versant.

Le fait d'ajouter la courte période estivale de 1996 sur Artemare a été motivé par deux raisons. La première raison est le syndicat du Valromey souhaite avoir une bonne compréhension du fonctionnement de la nappe dans ce secteur précis. La seconde raison est qu'il n'existe pas de données récentes sur le secteur d'Artemare. En effet, les dernières données disponibles remontent à 2003, lors de l'étude faite sur le champ captant d'Artemare par EnvHydro Consult. Cependant, les données disponibles ne sont que très partielles. C'est pourquoi nous avons privilégié les données de l'essai de pompage longue durée réalisé en Juillet 1996 par BURGEAP.

3.2 Prélèvements

3.2.1 AEP

Pour les prélèvements en eau potable, nous avons repris les différents points de prélèvements relevés par EMA Conseil durant leur première phase d'étude. Nous reprenons ces valeurs année par année de la période de calage (Tableau 9). Ces valeurs (en m³/an) ont été obtenues grâce aux données fournies par l'Agence de l'Eau.

Tableau 9 : Valeurs retenues pour les prélèvements AEP (base redevances Agence de l'Eau)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Artemare (puits)	170 100	152 400	151 500	144 500	150 100	115 400	139 300
Artemare (forages)	1 119 800	1 205 000	1 059 300	1 062 200	1 054 200	1 073 200	1 042 400
Béon	56 000	64 600	58 900	57 000	35 400	35 100	19 200
Ceyzérieu	120 200	167 100	140 400	117 200	83 800	76 900	77 100
Cressin (puits n°1)	24 800	24 800	24 800	0	0	0	0
Cressin (puits n°2)	139 700	143 300	158 300	154 000	163 400	216 500	204 000
Culoz	310 800	302 100	336 800	298 200	268 700	288 400	283 600
IND_GRAVIRHONE	94 900	94 500	156 800	157 500	62 600	125 600	24 100
PAC_CIAT	2 883 800	2 386 300	2 697 098	1 861 300	1 619 800	1 505 800	2 326 100

3.2.2 Irrigation

EMA n'a pas pu réaliser un inventaire fiable des prélèvements agricoles pour la période 2004-2010 (les données redevance Agence de l'eau sont sous-estimées).

Pour l'irrigation, nous avons retenus 10 points de prélèvements (cf. Carte en annexe) pour un volume moyen annuel sur la période 2004/2010 d'environ 200 000 m³/an, selon les hypothèses d'EMA (estimation des prélèvements en moyenne annuelle). Contrairement aux prélèvements AEP, nous n'avons pas ici de valeur propre à chaque année mais une valeur moyenne sur toute la période de calage.

Sachant que les prélèvements pour l'irrigation sont la plupart du temps effectués durant la période estivale, nous les avons donc pondérés sur le mois de Juin (10%), Juillet (60%) et Aout (30%) selon les hypothèses réalisées par EMA, à partir d'une enquête assez poussée. Ces chiffres sont donc assez représentatifs de la réalité de l'irrigation. Le tableau ci-dessous résume les volumes prélevés pour ces trois mois.

3.2.3 Autres (PAC, industrie)

Nous avons rajouté deux autres points de prélèvement dans notre modèle car nous pensons que les volumes en jeu peuvent avoir un impact les variations de la nappe (Tableau 10) :

- La pompe à chaleur de la Compagnie Industrielle d'applications Thermique (CIAT) à Culoz ;
- Le forage de l'industrie GRAVIRHONE à Culoz.

Tableau 10 : Valeurs retenues pour les prélèvements industriels (base redevances Agence de l'Eau)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Industrie GRAVIRHONE	94 900	94 500	156 800	157 500	62 600	125 600	24 100
PAC_CIAT	2 883 800	2 386 300	2 697 098	1 861 300	1 619 800	1 505 800	2 326 100

3.3 Recharge

3.3.1 Pluie efficace

La pluie efficace en plaine est déterminée grâce à la station météorologique de Belley. Cette valeur est calculée en fonction de la pluie et de l'évapotranspiration (ETP) :

$$P_{efficace} = P_{brute} - ETP$$

La Figure 2 ci-après récapitule les pluies efficaces introduites dans le modèle pour chaque mois et chaque année de la période de calage longue durée.

Les apports de bordures du versant Sud (Flexieu, Ceyzérieu, Marlieu) sont également calculés à partir des données de la station de Belley.

Les apports de bordures du versant Nord (Artemare, Béon, Culoz) sont calculés quant à eux à partir de la station de Sutrieu. Cette station météorologique située sur le plateau karstique au Nord d'Artemare est en effet plus représentative des apports du bassin à l'amont de la plaine de Lavours.

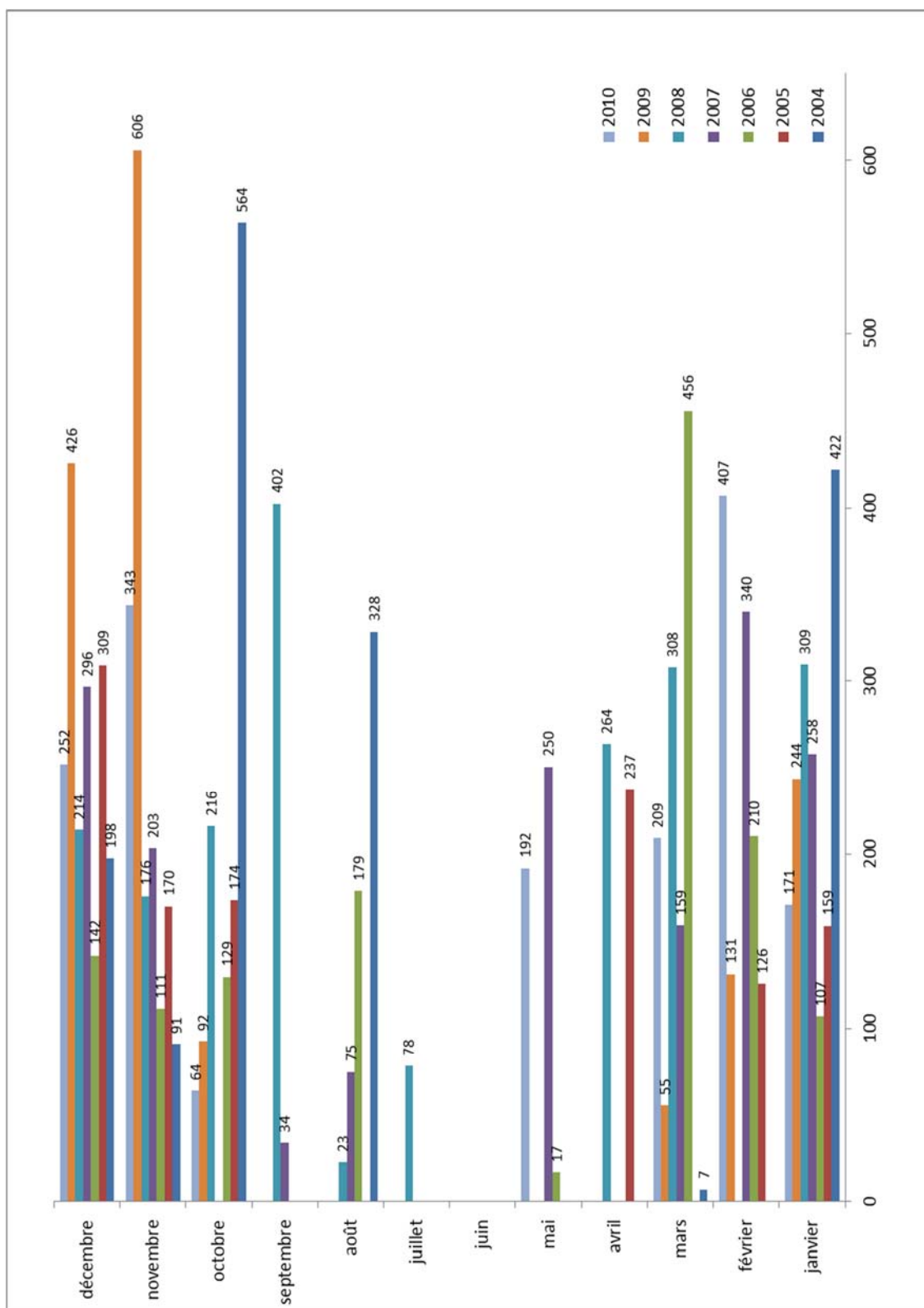


Figure 2 : Détermination de la recharge

3.4 Rivières

3.4.1 Rhône

Pour le calage longue durée 2004/2010, les niveaux du Rhône ont été saisis en transitoire, c'est-à-dire variables dans le temps. Les valeurs retenues sont basées sur celles du modèle réalisé par BURGEAP lors de l'étude des marais de Lavours et Chautagne en 2011.

3.4.2 Séran

Pour le Séran, nous ne disposons pas de mesures de hauteurs d'eau récentes dans les différents tronçons de la rivière. Nous avons des données de débit au niveau de la station de la Bavosière mais cette station est située sur le plateau karstique, à l'amont de la cascade d'Artemare. Il n'existe pas de données permettant de relier le débit à la hauteur d'eau dans le Séran : la cote fil d'eau saisie dans le modèle pour ses différents tronçons d'amont en aval est un paramètre de calage. Pour ceci, nous avons utilisé une fonction de relation entre débit à la Bavosière et hauteur d'eau dans les différents tronçons du Séran. Contrairement aux données fournies par EMA Conseil dans leur rapport de phase 1 & 2 et afin de refléter un peu mieux la réalité, nous avons pris en compte dans notre modèle les variations de débit mensuel entre les différentes années. Le Tableau 11 : Débits du Seran à la Bavosière (en l/s) à pas mensuelci-dessous récapitule les débits mensuels exploités :

Tableau 11 : Débits du Seran à la Bavosière (en l/s) à pas mensuel

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2004	3.44	1.29	0.93	0.47	0.65	0.08	0.00	1.02	0.09	2.43	0.93	1.37
2005	1.69	1.86	0.75	2.96	0.33	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.69
2006	0.50	1.75	3.62	1.41	0.51	0.02	0.02	0.35	0.07	0.72	0.81	1.07
2007	1.87	2.44	1.74	0.20	1.94	1.08	1.26	0.20	0.17	0.18	0.85	2.49
2008	2.63	0.58	2.25	2.57	0.27	1.11	0.26	0.19	1.60	0.38	0.90	1.50
2009	1.83	1.20	1.08	0.24	0.08	0.06	0.02	0.01	0.01	0.03	1.59	2.72
2010	1.23	3.59	1.71	1.04	0.83	0.67	0.12	0.10	0.03	0.11	1.49	2.56
Moyenne	1.88	1.82	1.73	1.27	0.66	0.45	0.24	0.27	0.28	0.55	0.94	1.77

En ce qui concerne le fond du lit, nous nous sommes basés sur la campagne réalisée en 2010 donnée ci-après (Figure 3 en page suivante).

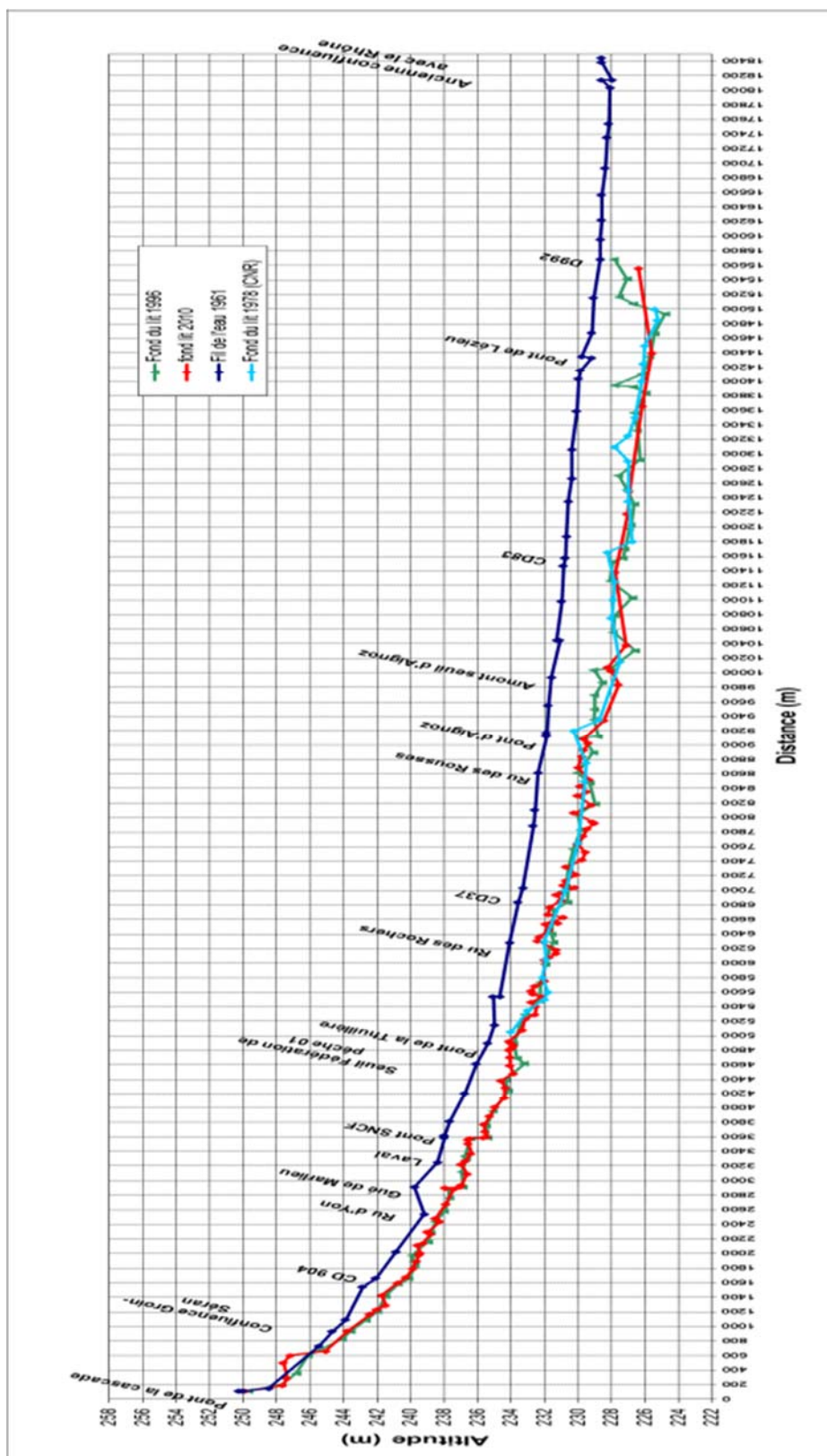


Figure 3 : Profil en long du lit du Séran

3.5 Piézomètres de contrôle

3.5.1 Liste des piézomètres utilisés

Pour le calage du modèle, nous sommes appuyés sur l'analyse faite par EMA Conseil concernant les piézomètres pertinents et disponibles sur le secteur d'étude. Ainsi, 6 piézomètres (simples ou doublets) ont été introduits dans le modèle (Figure 4 en page suivante) :

- P72/P72B : doublet de piézomètres situé à l'aval du marais de Lavours. Les données montrent très bien la mise en charge de l'aquifère inférieur. Les deux aquifères répondent très rapidement et assez fortement aux différents stress ;
- P75 : piézomètre de la nappe inférieure. Il montre des variations rapides et fortes à l'image du doublet précédent ;
- D2 (5)/D2 (20) : doublet piézométrique à l'amont de la nappe du marais de Lavours. On retrouve des battements de la nappe identiques au doublet P72. L'effet captif de la nappe inférieure est ici bien plus marqué ;
- R142/R142B : doublet piézométrique situé au bord du Séran. Il confirme les observations du doublet P72 ;
- D4 (5)/D4 (20) : doublet piézométrique au bord du plateau karstique Nord. La nappe est y est toujours captive mais l'amplitude des variations des deux nappes est beaucoup plus faible ;
- rn01 : piézomètre de la nappe supérieure situé en plein cœur du marais de Lavours. Il montre des battements de la nappe similaires aux autres doublets. Il a toutefois la particularité d'avoir des descentes très prononcées.

Note : le doublet de piézomètre D1 n'a pas été utilisé pour le calage en l'absence de données pour le piézomètre profond (non transmises par l'EID). pour ces raisons EMA conseil émettait un doute sur la fiabilité de cet ouvrage, même s'il le considère comme un point stratégique secondaire (Cf rapport EMA phase 2 – choix des piézomètres de référence).

Carte des piézomètres stratégiques retenus

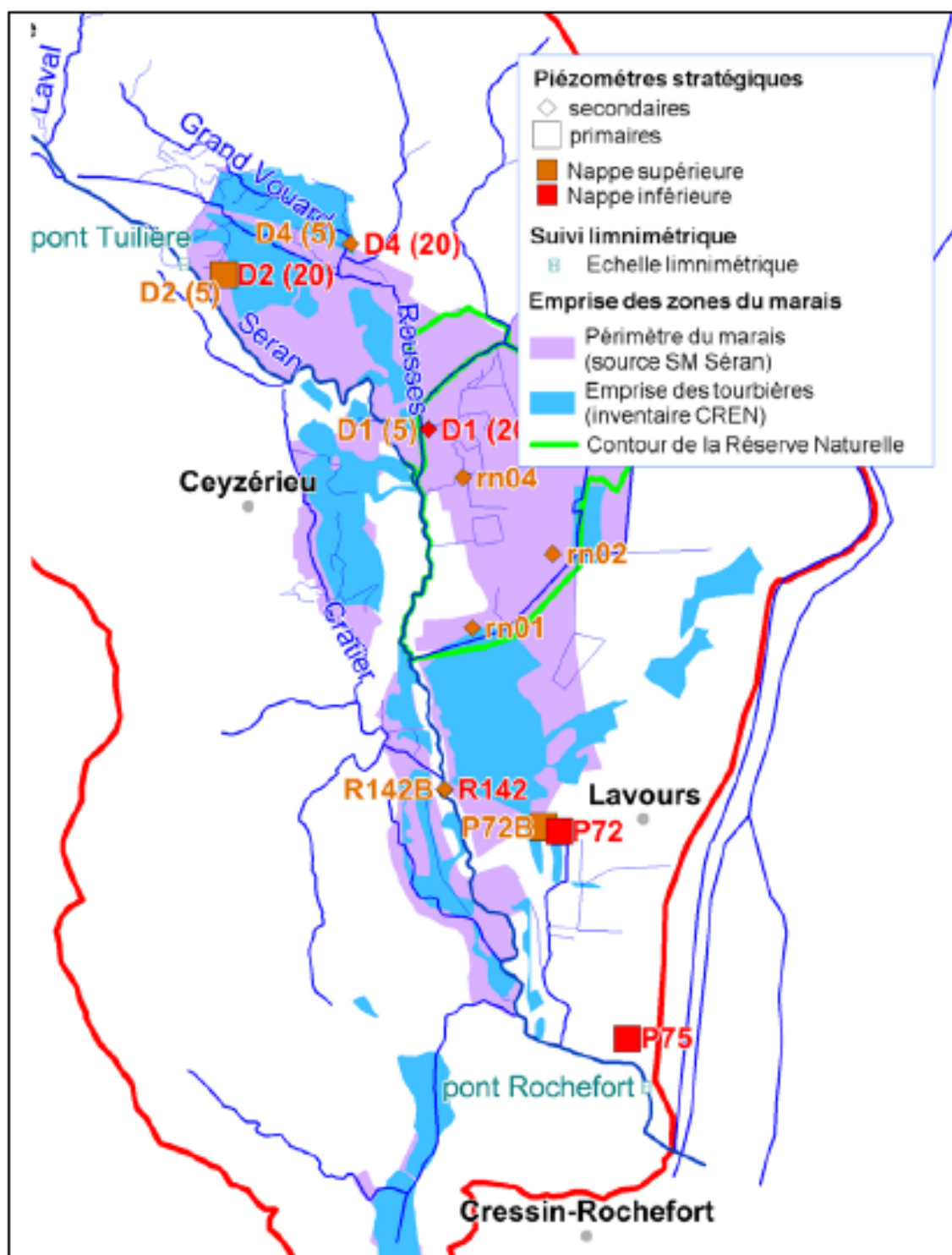


Figure 4 : Carte des piézomètres retenus

3.6 Note sur la zone d'Artemare

La zone d'Artemare (puits de Cervevrieu) a fait l'objet des différentes études, dont les deux principales présentent des conclusions contradictoires quant au potentiel d'exploitation de la zone pour l'eau potable :

- L'étude BURGEAP de 1996 avec un débit d'exploitation possible de l'ordre de 130 à 200 m³/h, soit un ordre de grandeur 1,1 Mm³/an à 1,7 Mm³/an.
- L'étude EHC de 2004 qui propose un potentiel d'exploitation 10 fois supérieur, estimé à 3500 m³/h +/- 800 m³/h, soit de l'ordre de 13 Mm³/an (en faisant l'hypothèse de 10 heures de pompages par jour) avec un apport majoritaire par le karst du Jurassique.

La première phase de l'étude réalisée par le bureau EMA Conseils a retenu l'hypothèse de BURGEAP comme la plus probable et a donc écartée les conclusions du bureau EHC.

L'ARS fait remarquer ce point dans son courrier adressé au Syndicat le 24/01/2013 avec les éléments suivants : « *L'étude de vulnérabilité d'Envhydro Consult (EHC) de 2004 est remise en question et les résultats sont écartés au profit des conclusions de l'étude antérieure de 1996 de BURGEAP. L'étude de BURGEAP ne s'appuie que sur la bibliographie et l'interprétation d'un pompage d'essai réalisé à une période où la nappe était en cours de tarissement, contrairement à celle de EHC qui est plus complète. Je m'interroge sur les arguments qui conduisent à remettre en cause et à juger peu pertinentes les conclusions de l'étude de 2004. Seuls les éléments susceptibles d'intéresser l'étude volume prélevable semblent être retenus. Aussi il apparaît indispensable de prendre en compte les éléments de cette étude et de reconsidérer les conclusions du rapport* ».

Nous reprenons dans les paragraphes ci-dessous les données exploitées par BURGEAP en 1996 et par EHC en 2004.

Les investigations de terrain réalisées par BURGEAP ont consisté en

- La pose de 3 piézomètres à 20 m de profondeur ;
- Un pompage d'essai avec l'ensemble des pompages en place durant 4 jours au débit maximum en place de 372 m³/h.

Les investigations de terrain réalisées par EHC en 2004 :

- 3 sondages électriques et 1470 ml de panneaux électriques, 500 stations d'EM31
- La réalisation de 2 sondages destructifs à 41,5 et 60 m équipés en piézomètres ;
- Des pompages d'essais par paliers sur les 4 ouvrages d'exploitation, mais pas d'essai longue durée ;
- Un traçage dans le Séran avec suivi au puits F4 ;
- 3 panneaux électriques recoupant la zone.

L'essai de pompage en continu de BURGEAP en 1996 en conditions de basses eaux montre une baisse régulière durant les 4 jours de pompage sans signe de stabilisation. Ce résultat est confirmé sur les 5 ouvrages suivis. Cet essai montre sans ambiguïté, que dans les conditions de l'essai, le pompage vidange l'aquifère sans réalimentation (ou très faible par rapport au débit pompé). **Il n'y a pas eu de précipitations durant l'essai et le débit du Séran était faible (non jaugé durant l'essai).** L'essai a duré 4 jours avec une amplitude de rabattement dans le puits de l'ordre de 1,5 m dans les puits. Le suivi de la remontée n'a duré que quelques heures ne permettant pas de vérifier le rabattement résiduel réel en fin d'essai (le suivi de la remontée aurait dû durer 4 jours), ne permettant pas de vérifier les variations naturelles de la nappe durant l'essai. On connaît des baisses de niveau de l'ordre de 50 cm en 3 jours qui pourraient perturber l'essai.

Malgré tout, l'essai peut être jugé fiable, le rabattement résiduel après 6 heures n'étant que de 0,7 cm et non stabilisé à l'amplitude des rabattements dans le puits (1,5 m). La prolongation hypothétique de la courbe de remontée semble assez symétrique à la courbe de descente (pentes similaires), ce qui semble exclure une influence notable des variations naturelles de la nappe durant l'essai.

Note importante : les valeurs en NGF de l'étude BURGEAP de 1996 (entre 228 – 229 m NGF) sont fausses en valeur absolue. Après vérifications, ces valeurs sont fiables en relatif uniquement, les valeurs ont été rattachées à l'époque à un point fixe dans la boucle d'Artemare, sans nivellement, mais probablement rattachées une valeur arbitraire (carte IGN ?). Les cartes piézométriques et les courbes de rabattements associés sont donc justes en valeur relatives, mais fausses en valeur absolue. La vérification a pu être réalisée à partir :

- D'un niveau de nappe à Artemare incompatible avec la réalité du terrain et des observations (par exemple, cote 228 m proche de celle du Rhône, alors qu'il existe un gradient mesuré entre Artemare et le Rhône) ;
- Des relevés topographiques précis et rattachés au NGF réalisés par HYDRATEC en 1996, et notamment dans la boucle d'Artemare (profils en long, profils en travers du Sérán et altitude de la ligne d'eau) ;
- Des données EHC de 2003 (nivellement des piézomètres rattaché au NGF) ;
- De la vérification sur le terrain lors de la mise en place d'un nouveau suivi piézométriques des puits d'Artemare avec nivellement des piézomètres et quelques points cotés et nivelés (Syndicat du Sérán, mai 2015).

Les valeurs de la zone d'Artemare des observations de 1996 ont toutes été recalées au bon niveau NGF dans le modèle.

Les mesures réalisées par Hydratec en 1996 (Tableau 12) montrent qu'il existe une zone de perte dans le Sérán dans la boucle d'Artemare, de l'ordre de 20 l/s en conditions d'étiage. Ces pertes ont été mesurées à plusieurs reprises au cours de l'année de 1996 entre la confluence avec le Flon et l'amont de la confluence avec le Groin :

Tableau 12 : Mesures des débits d'étiage entre 30/07 et le 10/09/1996 (rapport Hydratec de 1996)

	30/07/1996	02/08/1996	07/08/1996	10/09/1996
Seran à la cascade	0 l/s	0 l/s	0 l/s	0 l/s
Confluence Flon/Seran	Non mesuré	55 l/s	54 l/s	39 l/s
Seran amont confluence Groin	Non mesuré	29 l/s	Non mesuré	21 l/s
Seran Pont D83	999 l/s	Non mesuré	Non mesuré	803 l/s

Cette possibilité de réalimentation de la nappe par le Seran est d'autant plus logique, que le Seran arrive en position haute dans la plaine avec un potentiel d'alimentation important vers l'aquifère. La nappe d'Artemare est décrochée d'environ 7 m sous le niveau du Seran en conditions de basses eaux.

On remarque que malgré le débit nul à la cascade, on retrouve un débit conséquent en aval. L'étude ne précise pas la part d'apport des sources de la cascade par rapport au Flon. On remarque également que le Seran fonctionne en drain dans sa partie aval avec des forts débits mesurés.

En revanche, des observations faites par les bureaux CINCLE et EMA lors de la campagne de jaugeage de septembre 2011 (tériage) peuvent localement infirmer les observations d'HYDRATEC. CINCLE et EMA n'ont pas réalisé des jaugeages différentiels dans la boucle d'Artemare. Dans le secteur, un seul jaugeage a été réalisé immédiatement en aval avec la confluence avec l'Arvière (ruisseau du Groin). Mais il est noté dans les rapports les observations suivantes :

- *À l'aval de la cascade, le Séran reçoit d'abord les eaux du Flon, alimenté par de nombreuses sources dont certaines résurgences karstiques. Son débit d'ériage reste toutefois modeste.*
- *Des venues d'eau surviennent ensuite en rive gauche depuis le domaine de l'aire de captage de Cerveyrieu (débit en basses eaux à peu près constant estimé à 10 l/s par CINCLE).*

On ne sait pas si les 10 l/s mentionnés (jaugés ou estimation visuelles) sont le fait des venues d'eaux seules ou de la somme du débit du Séran et des venues. On peut retenir, en ordre de grandeur, que ces venues sont significatives (jusqu'à 10 l/s). Ces venues ne proviennent pas de la nappe, car en conditions de basses eaux (et à plus forte raison en septembre 2011, période d'ériage marqué), la nappe est décroché (+/- 7 m sous le niveau d'eau du Séran). Par ailleurs, il n'est pas précisé la position des venues, qui semblent se produire immédiatement après la confluence avec le Flon, en rive gauche. Sur la carte du réseau hydrographie (Carte 2.2 du rapport e phase 2 d'EMA), ces venues d'eaux seraient effectivement localisées immédiatement en aval de la confluence avec le Flon, le tronçon du Séran étant considéré ici comme toujours en eau, alors qu'il est considéré en assec occasionnel immédiatement en aval dans la boucle d'Artemare. Ces données sont cohérents avec les observations d'HYDRATEC qui observe la zone de perte du Séran plus en aval dans la boucle.

Les données géologiques et géophysiques acquises par EHC (Localisation en Figure 5 et résultats en Figure 6) montrent une intercalation moins perméable au sein des alluvions, globalement entre 7 et 10 à 13 m. Contrairement à ce que présente EHC, les formations ne doivent pas être considérées comme un imperméable argileux et continu, mais comme un niveau moins perméable, mais potentiellement drainant. Les résultats des forages montrent des faciès sablo-argileux, et toujours graveleux (Forage S1 1960, puits P1, Forages F3 et F4 de 1990, Pz1, Pz2, Pz3 de 1996), que l'on ne peut pas classer comme imperméable. Dans le détail, les faciès sont très hétérogènes. Il existe un secteur où effectivement on retrouve un niveau franchement argileux entre 1 et 17 m de profondeur autour du forage P2 (Forage S3 de 1961 non localisé ?, puits P2 de 1965, et piézomètres PZ4 de 2003). La géophysique confirme ces informations :

- Une *intercalation de terrains peu résistants, donc argileux (<100 ohm.m)*, limitée :
 - au tiers amont du panneau électrique n°3, soit en amont du Pont du Séran sur la RD69 (hors lit du Séran). Le piézomètre PZ5 créé en 2003 montre sur les 32 premiers mètres d'un mélange de limon, sable, argile et graviers (pas de passées d'argile franche).
 - à des intercalations ponctuelles sur le panneau n°2, limitées à deux secteurs au sud de la RD69d (à hauteur de P2), mais aussi plus au sud à hauteur de F3 (graviers argileux sur 13 m) et F4 (argile sableuse sur les 15 premiers mètres) (hors lit du Séran)
 - à quelques intercalations ponctuelles entre le Séran et le puits F3 ;
- Des terrains perméables en surface correspondant à la zone non saturée (>1000 ohm.m) au contact des terrains aquifères (150 à 450 ohm.m) localisés :
 - sur le panneau 1 au sud du Flon, jusqu'au lit du Séran ;
 - sur pratiquement tout le panneau 2, bien développés en amont de P1 et au niveau de la RD69d (la coupe du forage montre des niveaux très perméables au-dessus de l'aquifère), excepté au droit des quelques zones lenticulaires (autour de P2 et l'axe du méandre du Séran) ;
 - sur le panneau 3, bien marquée le long du Séran, au sud de l'intersection avec le *panneau 1*.

In fine, on ne peut pas parler d'une couverture argileuse continue intercalée sur toute la plaine d'Artemare comme l'écrit EHC, mais d'une situation beaucoup plus contrastée :

- un faciès globalement limono-sableux et caillouteux +/-argileux suivant les secteurs, moyennement perméable, mais potentiellement drainant ;
- Une intercalation d'argile franche autour de P2 et de Pz2, qui doit être considérée comme peu perméable, qui pourrait inclure la zone du PZ5 (probablement plus perméable, couverture épaisse) ;
- Des zones quasi dépourvues d'argile donc très perméables autour du puits F1 et au sud-ouest, cette dernière zone pouvant correspondre à une des zones de pertes du Seran.

Selon ces données, l'hypothèse de EHC des pertes du Sérán drainées en surface et ne participant pas à la recharge apparaît peu probable. Les résultats montrent que les pertes du Seran peuvent recharger l'aquifère dans les zones les plus perméables :

- Entre la confluence avec le Flon et l'axe du méandre de la rivière ;
- Plus à l'est, en amont de la confluence avec le Groin, zone non prospectée par géophysique ou forage.

En revanche, il existe probablement une zone non saturée très complexe, comme le montrent les données géophysiques et géologiques qui expliqueraient le décrochage du Seran par rapport à la nappe en basses eaux.

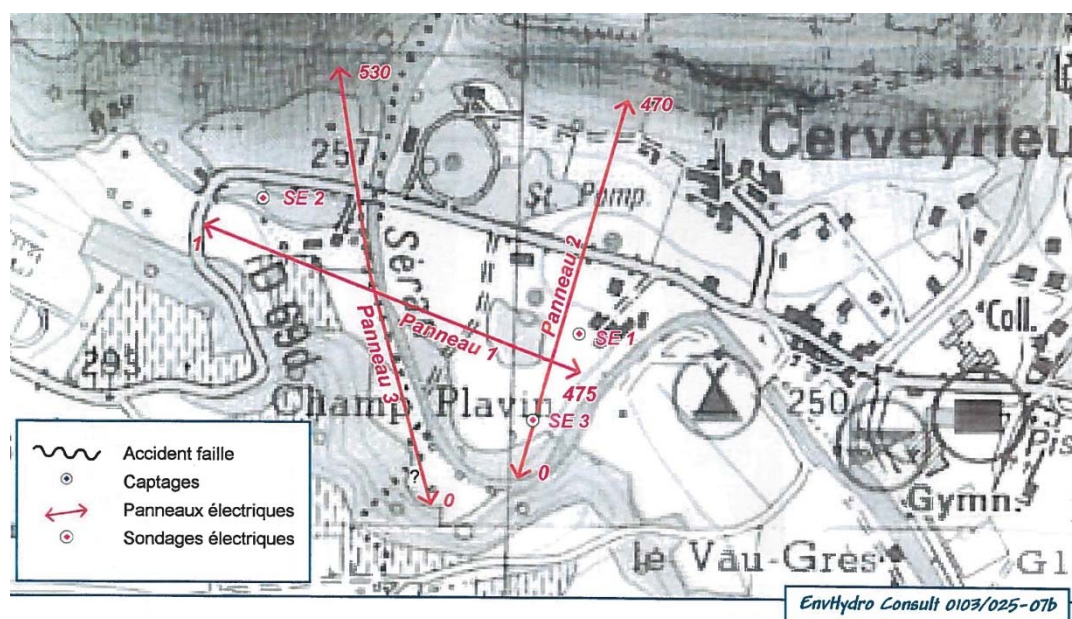


Figure 5 : Localisation des panneaux électrique réalisés par EHC en 2003

Le traçage réalisé par EHC a été effectué pour étudier les pertes entre le Seran et l'aquifère. Deux kilogrammes de fluorescéine ont été injectés dans une zone apparente de perte dans la boucle du Sérán vraisemblablement à hauteur du puits P4. On ne connaît pas le point d'injection précis dans le Sérán, ni son débit le jour du traçage. Le colorant a été injecté à 11h00 le 27/04/2004 et la restitution a été suivie dans le puits F4 avec deux prélèvements par jour durant 37 jours (Figure 7). Le rapport ne fait pas mention du dispositif analytique mis en place, ni du débit au puits (probablement 100 m³/h). De plus, les prélèvements ont vraisemblablement été démarrés le jour de l'injection, on n'a donc pas d'échantillon « à blanc ».

C'est d'autant plus dommageable, que le rapport fait mention de concentrations de 8 µg/l jugées non significatives, mais pourtant bien détectées dans le puits. En l'absence de blanc on ne sait pas si le 8 µg/l qui

sont détectés, sont dus au fond géochimique (et à la fluorescence de la matière organique) et/ou au traceur. Enfin, si le Seran était en eau, sans pertes visibles, l'intégralité du traceur a pu filer en quelques minutes dans le Seran et s'être dégradé à la lumière. Dans ce cas, une infime partie du traceur peut se retrouver dans la zone non saturée. Enfin, EHC ne prend pas en compte la traversée de la zone non saturée dans laquelle le traceur a également pu être piégé (a minima, 7 m de zone non saturée, Sérán décroché par rapport à la nappe). =

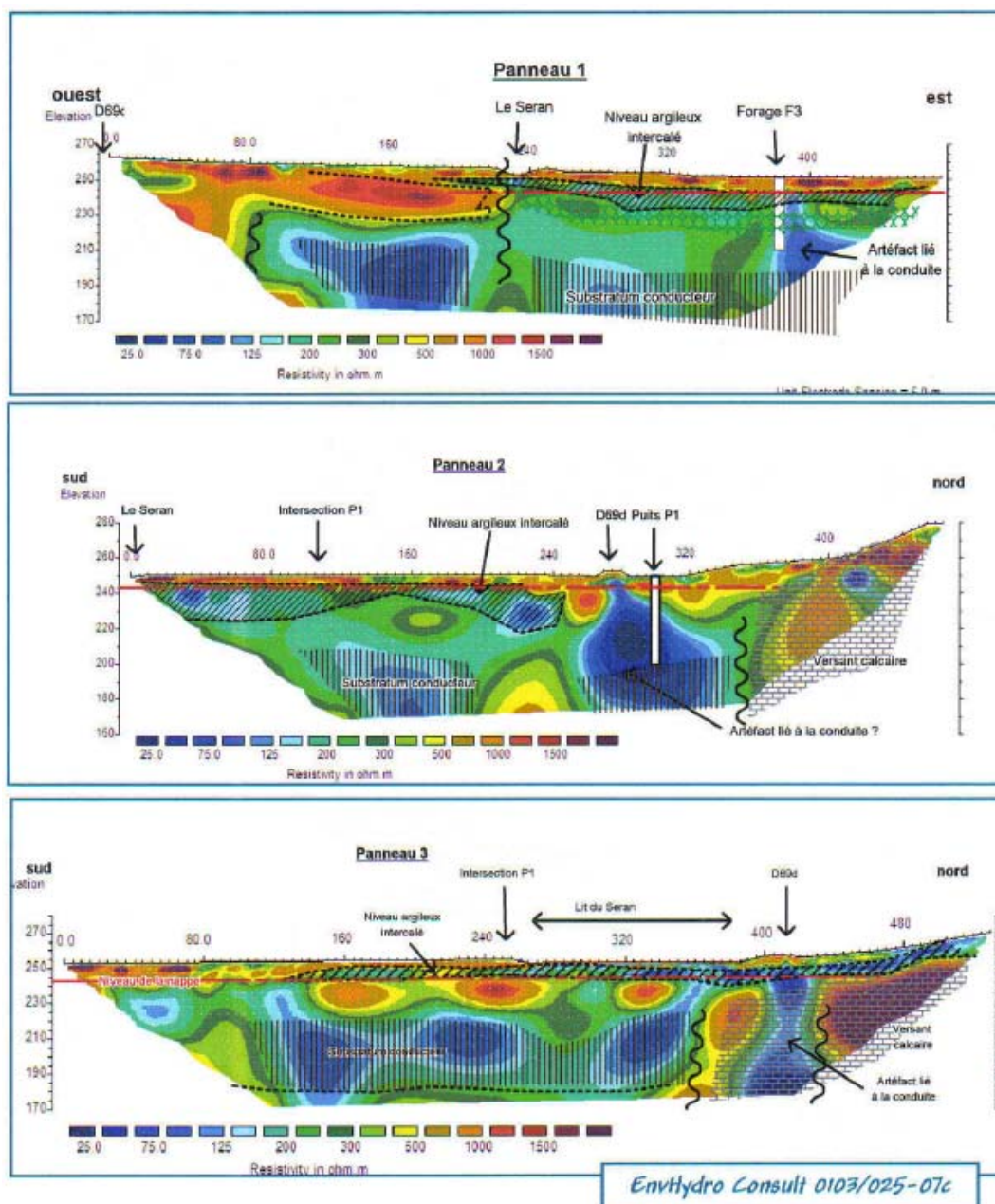


Figure 6 : Résultats des panneaux électriques réalisés par EHC en 2003

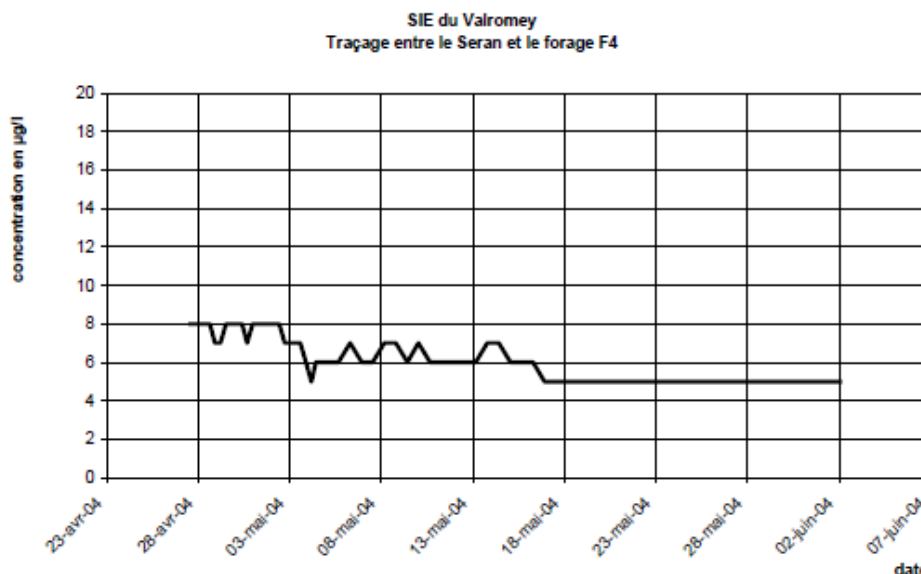


Figure 7 : Résultats du traçage entre les eaux du Seran et le puits F4 (EHC, 2004)

Les résultats interprétés comme négatifs ne peuvent pas être considérés comme représentatifs des échanges réels séran/nappe. On ne peut donc pas tirer de conclusions de ce traçage sur les apports du Seran vers l'aquifère.

Enfin, la dernière hypothèse argumentée par EHC, sur la base d'un Seran ne réalimentant pas l'aquifère, se base sur les observations piézométriques entre la fin août 2003 et octobre 2004 (sondes piézométriques enregistreuses, Figure 8). Ce suivi met en avant la recharge rapide du système après la période de sécheresse très marquée de l'été 2003. EHC montre que suite aux précipitations du 28/08/2003 (+/- 30 mm), il y a une remontée du niveau de la nappe (de l'ordre de 0,5 à 0,7 m) alors que le Seran est à sec à la Bavosière et que le débit du Groin est encore faible quelques jours après. On voit une corrélation forte entre les précipitations et les variations du débit de la source du Groin. , mais il y a effectivement, après une période très sèche comme l'été 2003, un débit du Seran à la Bavosière qui peut être nul, ce qui peut impliquer une recharge de l'aquifère autre que le Seran. On note par ailleurs que sur les autres périodes jusqu'à décembre 2013, les crues du Seran et du Groin sont bien corrélées aux remontées piézométriques sur Artemare avec un décalage de quelques jours. En 2004, on ne voit plus de décalage, ce qui contredit l'observation faite après une période sèche de 2003. Sur l'été 2004, en l'absence de débit dans le Seran, le niveau piézométrique chute, ce qui prouve sur cette période l'absence d'alimentation (ou une très faible alimentation au regard du débit pompé).

De cette seule observation après l'étiage 2003, EHC en déduit que c'est le karst du Jurassique qui alimente les alluvions d'Artemare. EHC considère l'ensemble de l'assiette du synclinal du Valromey où affleurent les terrains jurassiques comme réalimentant cette zone, sans avoir quantifié ces apports vers l'aquifère! L'estimation de la recharge est faite à partir d'une estimation de la recharge de tout le karst du Jurassique amenant à une recharge de 3500 m³/h.

Il est important de rappeler, qu'en amont du pont de la Bavosière, le Seran fonctionne en perte en conditions de basses eaux, et en exsurgence en conditions de hautes eaux (BSS 07004X0009/S). Les pertes du Seran réalimentent en aval en bordure de la plaine (sources de la cascade, traçage positif en 1992). Il peut donc y avoir une partie du débit du Seran perdue avant le Pont de la Bavosière qui ressort au niveau des sources plus en aval. C'est le cas des observations faites par HYDRATEC durant l'étiage 1996. On peut également ajouter les venues d'eau en rive gauche du Seran observées par EMA/CINCLE juste en aval de la confluence avec le Flon, qui ne proviennent pas de la nappe alluviale. Ces sources vont réalimenter le Seran, certaines pouvant être noyées sous les alluvions. On ne peut pas exclure des apports masqués du karst,

mais il est impossible de la quantifier avec ces seules observations et d'affirmer que c'est l'intégralité du karst du Jurassique qui réalimente la zone. Les traçages récents (2014) à la grotte de Préoux, montrent en amont que le karst du Jurassique est en lien avec la source du Groin et contredit le modèle proposé par EHC. Seul le calage de toutes les observations dans un modèle mathématique permet de quantifier la recharge réelle de la zone d'Artemare. **La principale difficulté ici, c'est le manque de points de calage sur le secteur en particulier sur le Seran dans la boucle d'Artemare.**

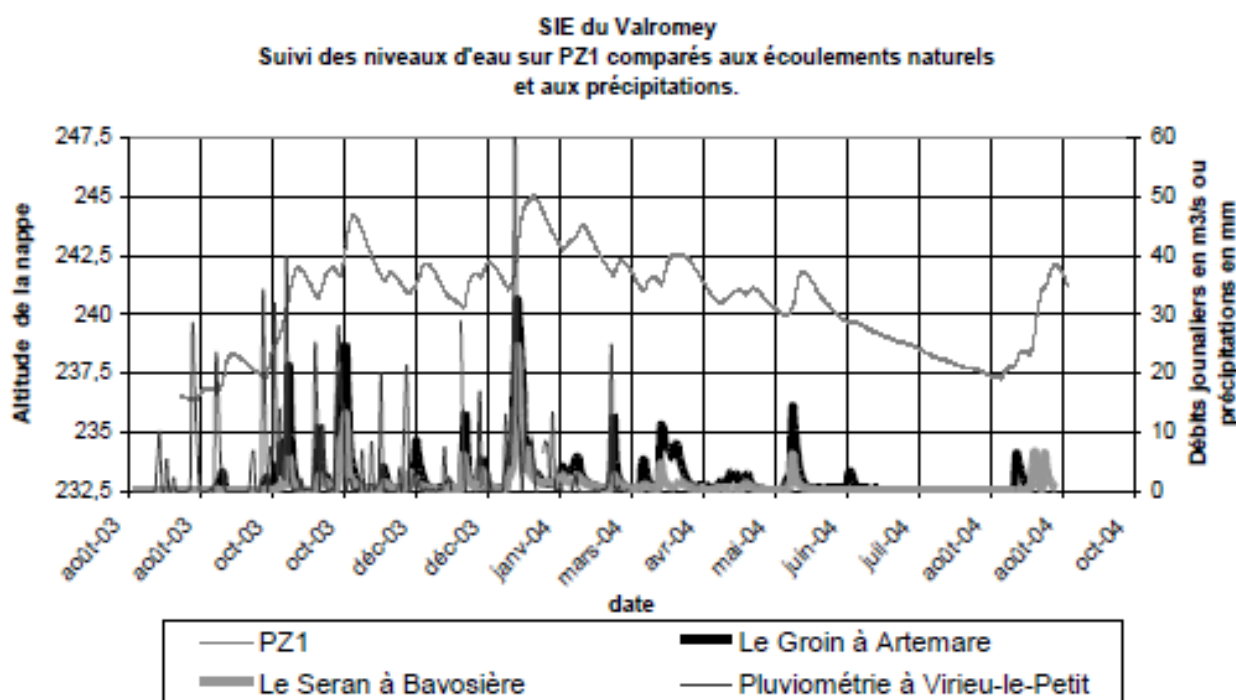


Figure 8 : Suivis piézométriques, limnimétriques et pluviométriques entre août 2003 et août 2004 (EHC, 2004)

En conclusion, on retiendra pour la construction et le calage du modèle que :

- Les pertes du Seran restent une hypothèse valide, malgré les conclusions proposées par EHC. Selon toutes les observations, les pertes du Seran seraient plutôt localisées en aval de la confluence Flon/Séran, dans la boucle d'Artemare. Dans tous les cas, la zone de recharge et les échanges nappes/rivières sont complexes dans la zone d'Artemare. On gardera en première approche cette hypothèse dans le modèle, avec une première quantification à partir des pertes observées en basses eaux ;
- Il existe une forte corrélation entre les précipitations efficaces et la réalimentation de l'aquifère via :
 - Le Seran, y compris s'il n'y a pas de débit à la Bavosière ;
 - Les apports de bordure.
- Les apports par le karst noyés sous les alluvions sont très probables et intégrés au modèle dans les apports de bordure ;
- En l'absence de précipitations efficaces, les apports sont faibles par rapport aux prélèvements et ne permettent pas de stabiliser le niveau piézométrique (pompage de 1996) ;

- En revanche, l'aquifère réagit très rapidement aux précipitations (par exemple, après la sécheresse de 2003)
- L'hypothèse d'une recharge par la totalité du karst du Jurassique est exclue.

Dans tous les cas, le modèle dans sa phase de calage tentera de définir les bons ordres de grandeurs des apports, que ce soient par le Seran, ou les apports du karst, sachant que les données actuelles sur la plaine d'Artemare (pas de mesure de ligne d'eau du Seran concomitante au niveau piézométrique) sont insuffisantes pour caler finement la part respective de ces apports. En revanche, le modèle donnera le bon ordre de grandeur de la somme des apports (Seran et bordure). Des tests de sensibilité seront réalisés dans les opérations de calage du modèle (apports karst et Seran).

4. Construction du modèle

Les écoulements souterrains ont été déterminés grâce à un modèle mathématique construit à l'aide du logiciel Visual MODFLOW 4.2 développé par Waterloo Hydrogeologic.

4.1 Limites du domaine modélisé

Le domaine modélisé est présenté en Annexe 1. Il s'étend de la rive droite du Rhône jusqu'à la ville d'Artemare, en passant par les marais de Lavours. Les limites Nord et Sud du domaine correspondent à la transition entre les plateaux karstiques (plateau du Valromey au Nord et plateau Sud) et la plaine alluviale.

4.2 Architecture du maillage

Deux aquifères sont présents sur le secteur d'étude : une nappe principale profonde située dans les alluvions fluviales ou fluvio-glaciaires du Seran et une nappe supérieure limitée au seul secteur de la tourbe des marais de Lavours.

Afin d'individualiser le comportement de ces aquifères, trois couches verticales ont été créées dans le modèle (Figure 9). Ainsi, nous avons de haut en bas :

- une couche supérieure c1 représentant la première formation aquifère rencontrée dans les alluvions ou dans la tourbe (l'aquifère est noté nappe supérieure dans ce cas). L'épaisseur de cette couche varie entre 3 et 18 m ;
- une couche intermédiaire c2 épaisse de 1 m destinée à recréer la mise en charge de l'aquifère inférieur sur les secteurs de la tourbe.
- une couche profonde c3 représentant le remplissage alluvionnaire principal de la plaine. L'épaisseur de cet horizon est très variable (entre 1 et 96 m) ;

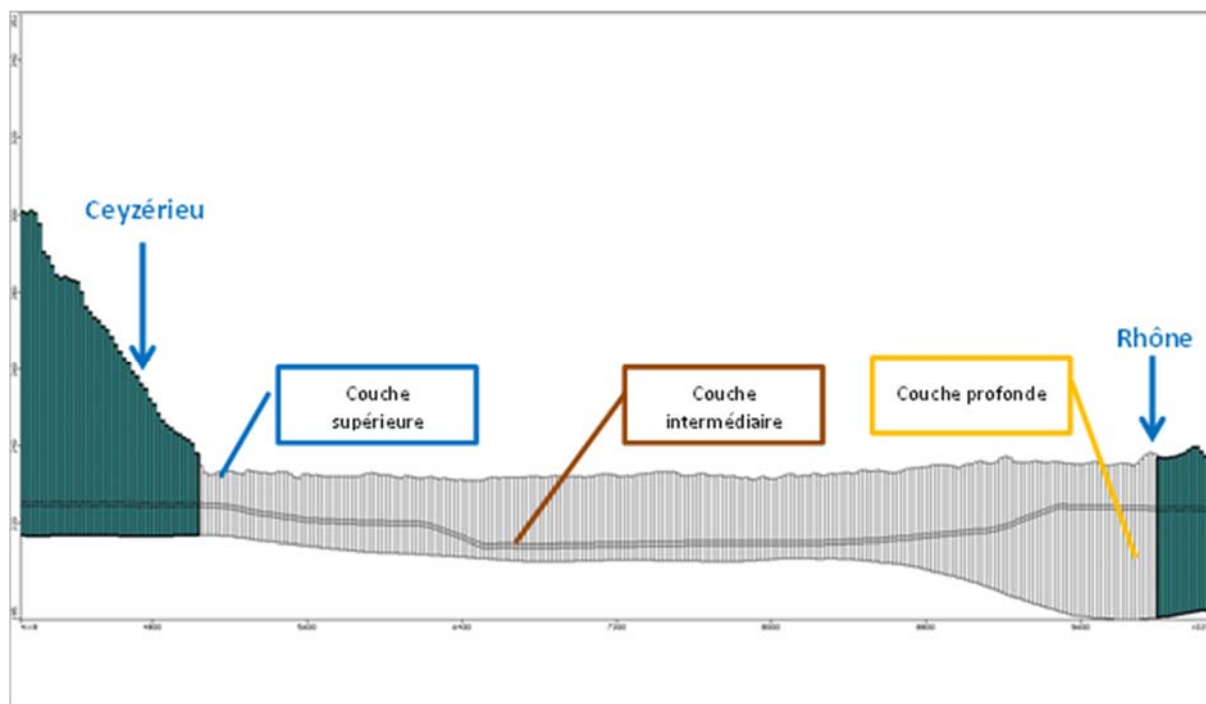


Figure 9 : Coupe transversale schématique du modèle (axe Est/Ouest)

Grâce à cette structure verticale particulière, le modèle peut ainsi recréer :

- un niveau de nappe unique sur les secteurs alluvionnaires. Dans ce cas les trois couches sont en relation directe, si bien que leurs niveaux piézométriques sont à l'équilibre ;
- une mise en charge de l'aquifère inférieur sous la nappe superficielle de la tourbe. Cela est possible grâce au contraste de perméabilité créé entre les couches C2 et C3.

Le substratum imperméable (base de la couche C3) est constitué de formations calcaires du Jurassique-Crétacé et de molasse Miocène.

Sur le plan horizontal, le maillage du modèle est homogène. Chaque couche est constituée de 64 600 mailles carrées (20 m sur 20 m). La superficie modélisée est d'environ 35 km².

4.3 Conditions aux limites du modèle

Les conditions aux limites du modèle sont représentées sur la carte globale du modèle en Figure 10. Elles sont constituées :

- par des flux entrants : au nord (Rhône), à l'Ouest (secteur d'Artemare) et au niveau des bordures latérales de la plaine (apports d'eau souterraine par les versants) ;
- par un flux sortant : au Sud (Rhône).

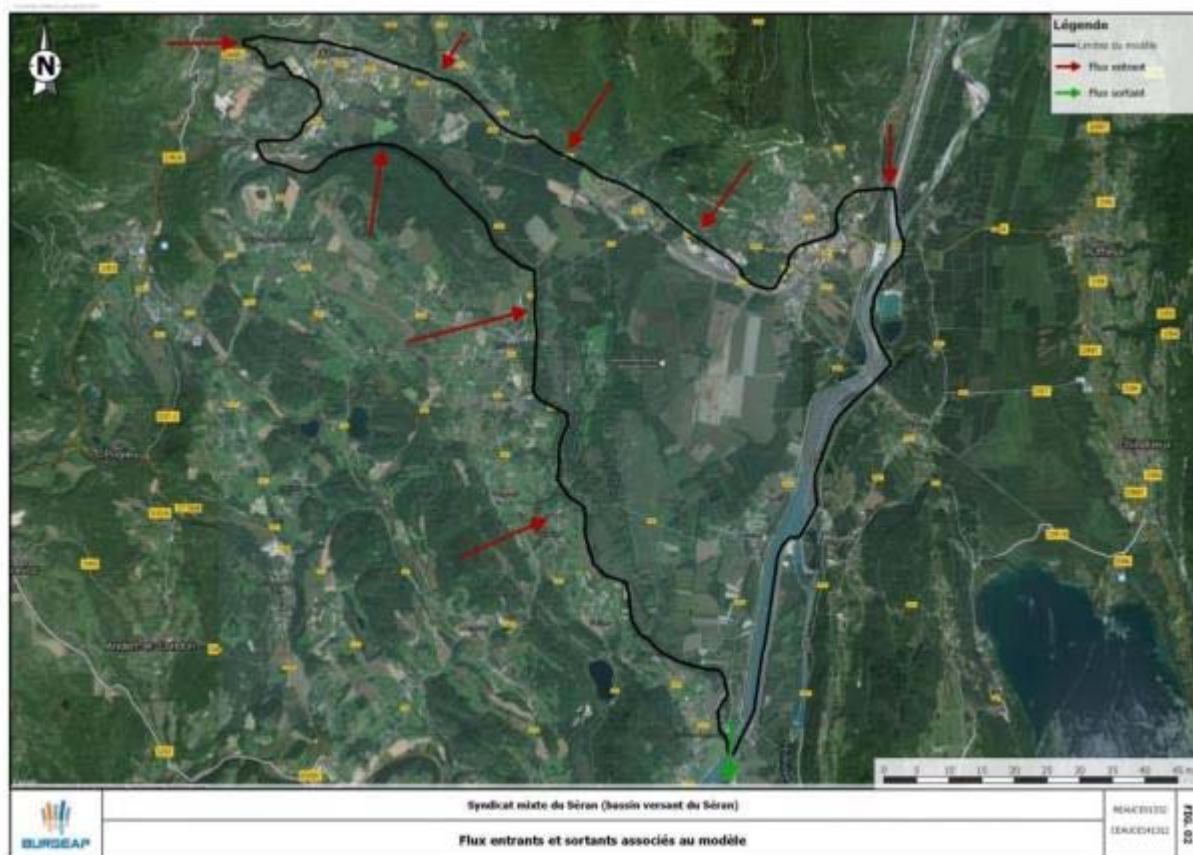


Figure 10 : Limites du modèle

Les différents cours d'eau présents sur le domaine d'étude sont modélisés sous forme de mailles à potentiel voisin. Ce terme désigne une cote de ligne d'eau imposée dans un compartiment superficiel. Dans le modèle, le volume des échanges nappe/rivière est géré par un coefficient de passage qui est fonction de l'épaisseur et de la perméabilité d'une éventuelle couche colmatante présente en fond et berge de la rivière. Les eaux de surface modélisées sont les suivantes :

- le Rhône avec des échanges sans doute très variables dans le temps car fonctions du passage de crues (dépôt de matériaux ou érosion) ;
- le Séran et les cours d'eau qui s'y jettent.

Les drains des marais de Lavours et les cours d'eau du Nord de la plaine alluviale sont traités par des mailles de type drain. A la différence d'une maille rivière, ce type de limite n'autorise qu'une sortie d'eau du modèle. Celle-ci ne devient active que lorsque le niveau de nappe calculé est plus élevé que la cote du drain. Les drains ont fait l'objet d'une discrétisation fine : 22 tronçons ont été créés dans le modèle (Figure 11).

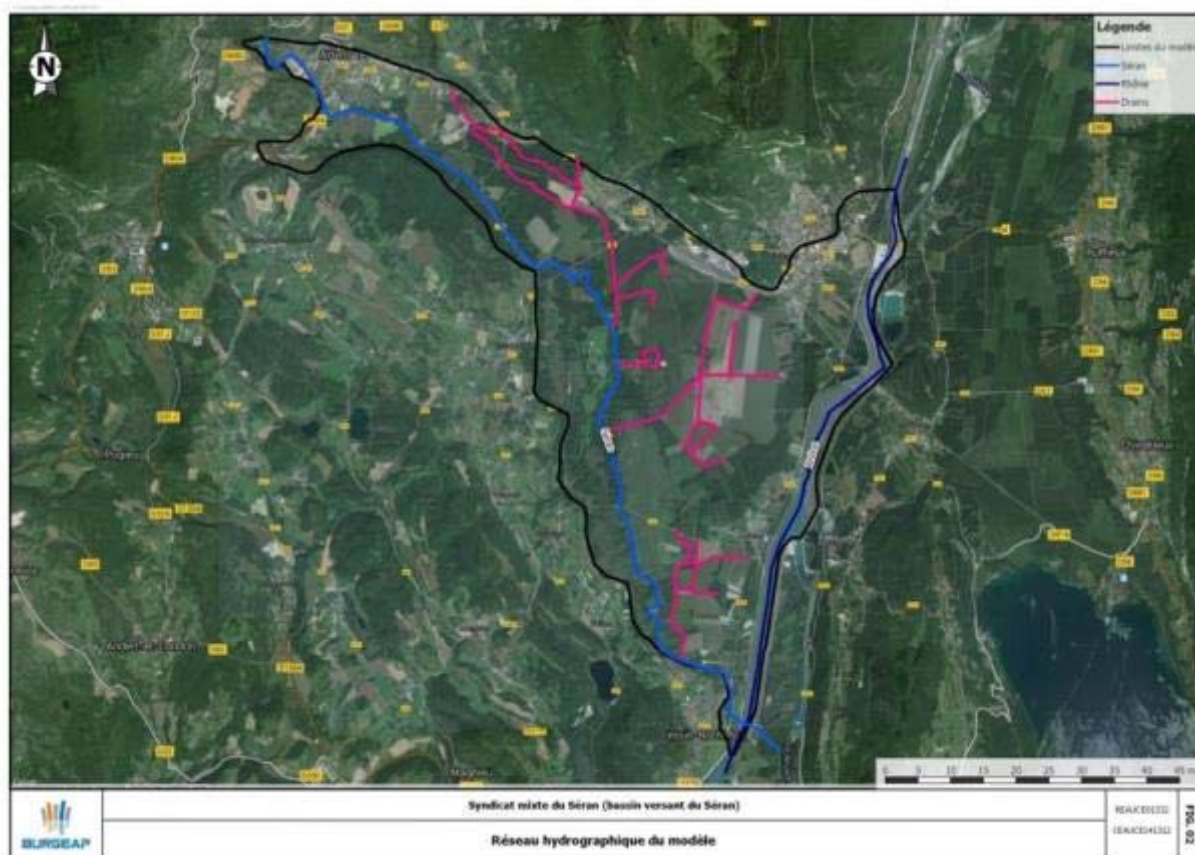


Figure 11 : Réseau de drainage

4.4 Prélèvements en nappe

Les différents prélèvements effectués dans la nappe et introduits dans le modèle sont présentés dans le Tableau 13. Leur localisation est reportée en Annexe 2.

Tableau 13 : Prélèvements dans la nappe (d'après base de données EMA Conseil)

Nom	X Lbt2	Y Lbt2	Volume Moy Ann. (m³)	Volume Max Ann. (m³)
AEP_ARTEMARE_01	859635	2102857	135 840	170 000
AEP_ARTEMARE_02	859541	2102782	N.C.	N.C.
AEP_ARTEMARE_03	859492	2102691	1 037 880	1 367 770
AEP_ARTEMARE_04	859492	2102691	N.C.	N.C.
AEP_BEON_01	863493	2101558	24 400	45 000
AEP_CEYZERIEU	862901	2100339	77 580	167 100
AEP_CRESSIN_01	867021	2093104	25 890	30 500
AEP_CRESSIN_02	867020	2093036	200 000	220 000
AEP_CULOZ	868610	2100539	280 150	346 270
AEP_LAVOURS	867253	2095134	N.C.	N.C.
IND_GRAVIRHONE	868875	2100077	115 000	158 000
IRR_ARTEMARE_01	861154	2101553	19 200	38 400
IRR_ARTEMARE_02	861090	2101492	72 000	144 000
IRR_ARTEMARE_03	860730	2101869	N.C.	N.C.
IRR_BEON	864259	2100597	N.C.	2 000
IRR_CRESSIN_01	866561	2094490	20 000	30 000
IRR_CRESSIN_02	866343	2094292	20 000	30 000
IRR_CRESSIN_03	866723	2094128	20 000	30 000
IRR_CRESSIN_04	866378	2093699	N.C.	N.C.
IRR_CULOZ	868578	2100103	N.C.	3 600
IRR_TALISSIEU_01	862604	2101165	20 000	30 000
IRR_TALISSIEU_02	862272	2101507	12 800	19 200
IRR_TALISSIEU_03	862227	2101949	4 800	7 200
IRR_TALISSIEU_04	861797	2101917	4 800	7 200
IRR_TALISSIEU_05	861564	2102008	10 400	15 600
IRR_TALISSIEU_06	861582	2102302	N.C.	N.C.
PAC_CIAT	868012	2100160	1 450 000	3 150 000

4.5 Alimentation de la nappe

Sur le plan conceptuel, les aquifères modélisés sont alimentés par :

- les précipitations directes sur le domaine ;
- une recharge via les bordures latérales (apports du karst) ;
- des apports par les rivières Rhône et Séran, fonction de la position relative de la cote fil d'eau par rapport au toit de la nappe, et du degré de colmatage. On reprend ici le tracé du fond du lit du Séran et la ligne (à partir des stations limnimétriques), les échanges étant ensuite calculés (alimentation ou drainage) par le logiciel en fonction de la position de la nappe et la perméabilité à l'interface nappe/rivière.

4.6 Piézomètres

71 piézomètres implantés sur le domaine d'étude caractérisent les deux aquifères présents : 40 pour la nappe supérieure et 31 pour la nappe inférieure. La localisation des différents piézomètres est donnée en Annexe 2.

4.7 Perméabilité des formations aquifères

Les cartes de perméabilité pour les 3 couches du modèle sont présentées en Figure 12. On retiendra les valeurs suivantes :

- de 2.10^{-3} à $3,5.10^{-3}$ m/s pour les alluvions grossières du Rhône,
- 3.10^{-4} m/s pour alluvions plus argileuses des dépôts fluvio-glaciaires,
- de 4.10^{-6} à 8.10^{-5} m/s pour les formations argileuses ou tourbeuses sur les secteurs de marais.

Majoritairement le travail de construction du modèle et de spatialisation du champ de perméabilité est issu du modèle mathématique de BURGEAP sous Code MOSAIC pour le compte de l'EID en 2002, en particulier pour le secteur de Lavours. Il a été complété par les données de forages de la Banque du Sous-sol, des données de géophysique, et des pompages d'essais pour le secteur reconstruit (Artemare).

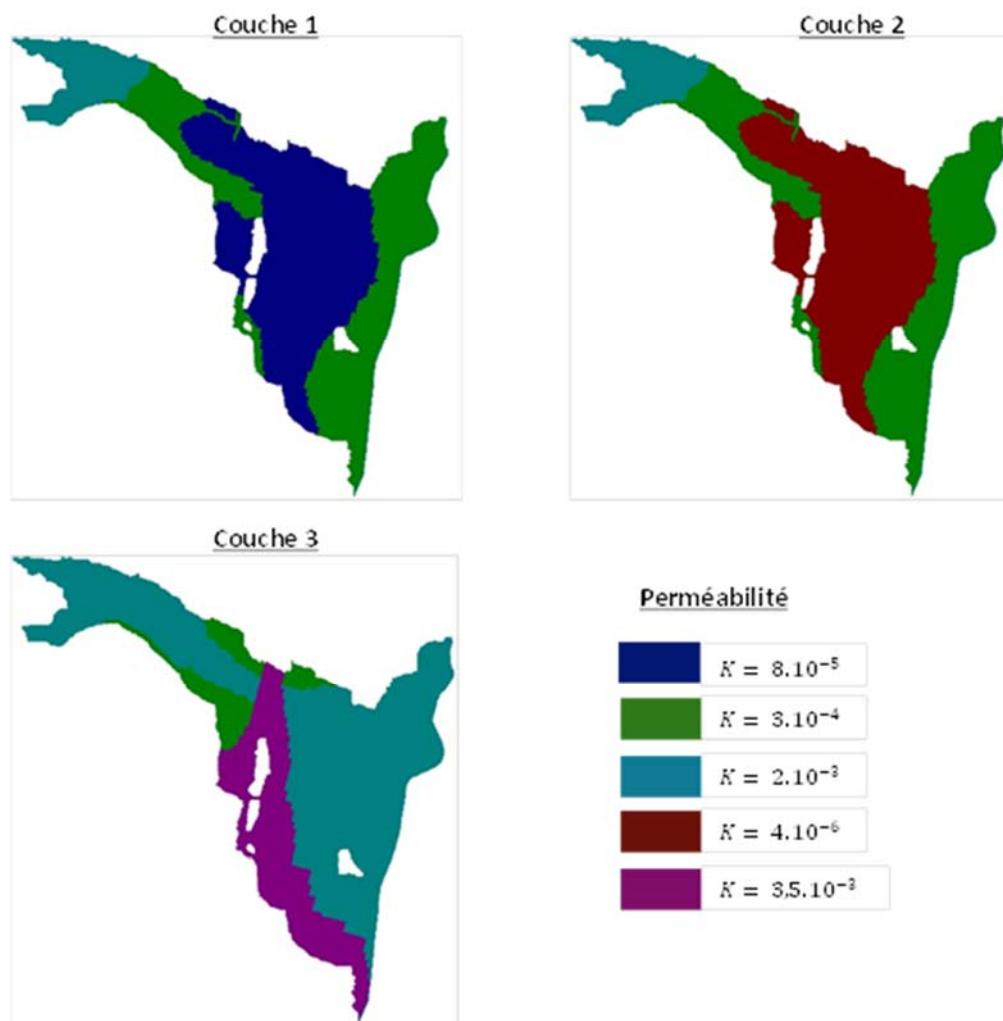


Figure 12 : Carte des perméabilités pour chaque couche

5. Calage du modèle

5.1 Calage en régime permanent

5.1.1 Méthodologie

Lors du calage d'un modèle, pour faciliter l'ajustement des paramètres représentatifs des aquifères (perméabilité et conditions aux limites notamment), le calcul est effectué en premier lieu en régime permanent, c'est-à-dire stable dans le temps (le débit entrant est égal au débit sortant). On prend en compte ensuite des variations de débit, le calage en transitoire permettant alors de restituer les évolutions piézométriques observées.

5.1.2 Piézométrie

Dans le cas présent, le calage en régime permanent a consisté à restituer la piézométrie moyenne mesurée sur le domaine entre 2004 et 2010. La Figure 13 et la Figure 14 présentent le résultat du calage avec les cartes piézométriques obtenues respectivement pour la couche supérieure (couche 1 qui inclue notamment la tourbe du marais) et la couche inférieure du modèle (couche 3 des alluvions). Sur ces cartes sont reportés également pour comparaison les niveaux de nappe mesurés sur les piézomètres de suivi (valeur moyenne 2004/2010).

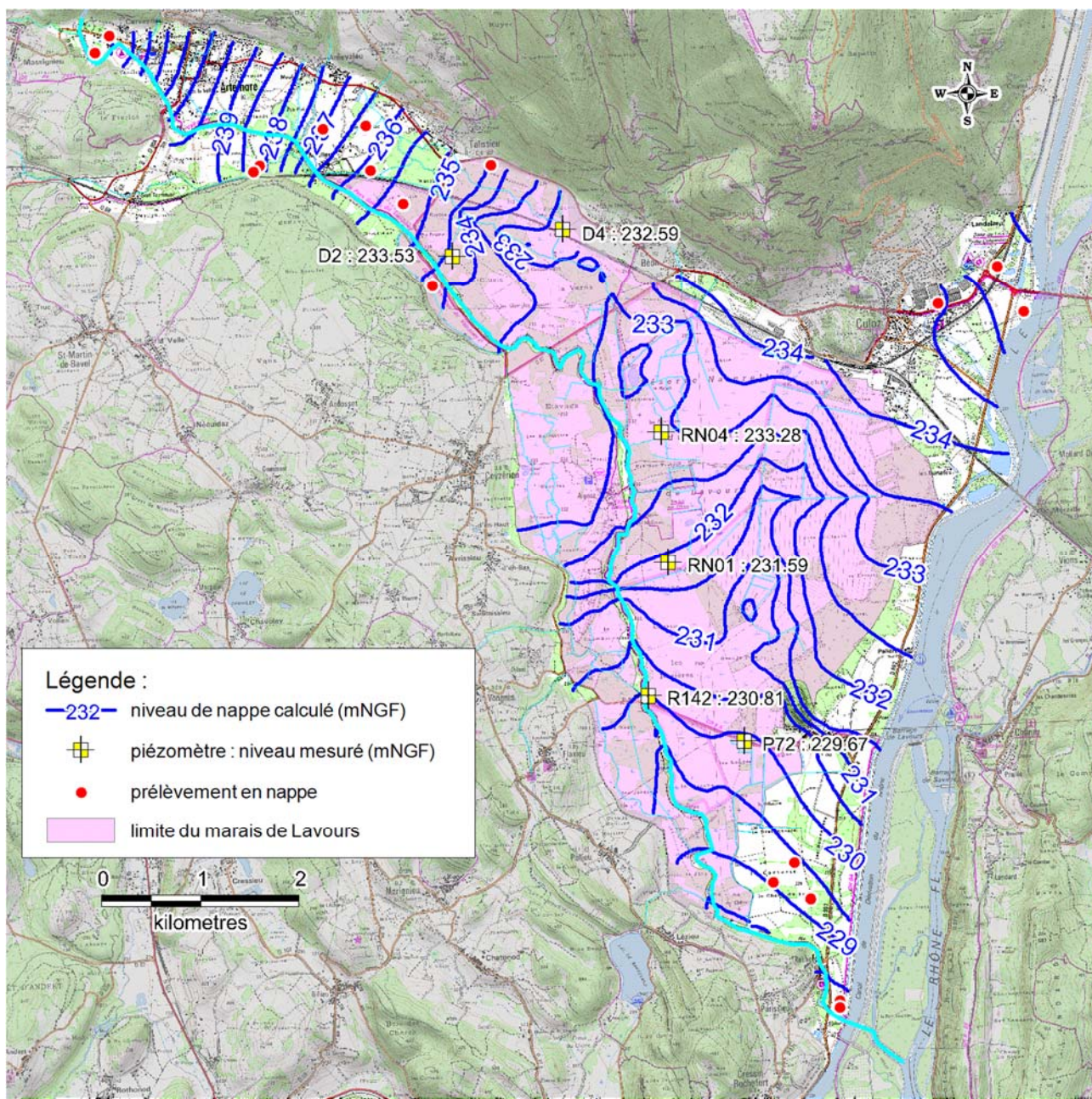


Figure 13 : Piézométrie calculée (mNGF) en régime permanent sur la couche supérieure (Valeur moyenne 2004-2010)

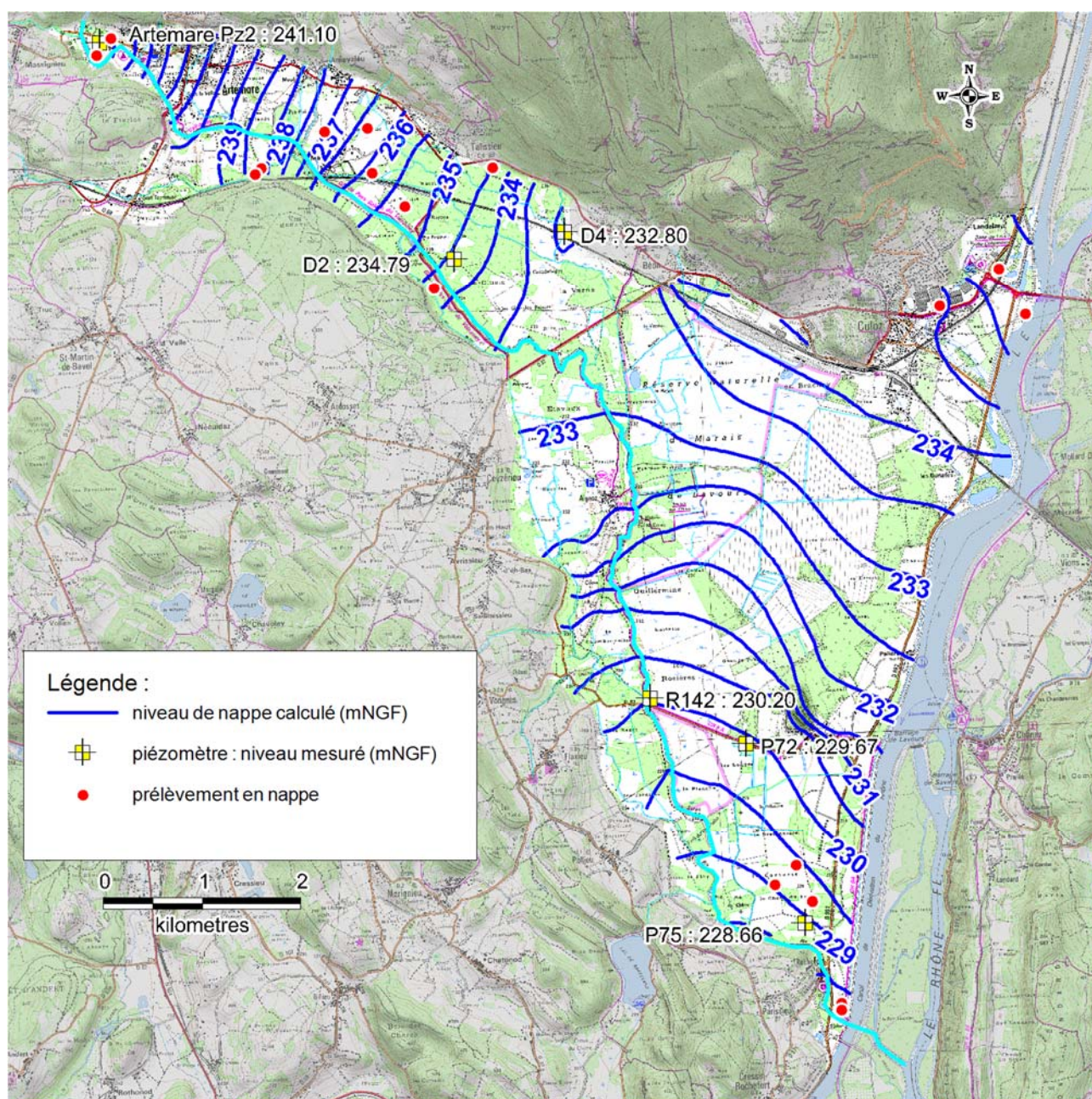


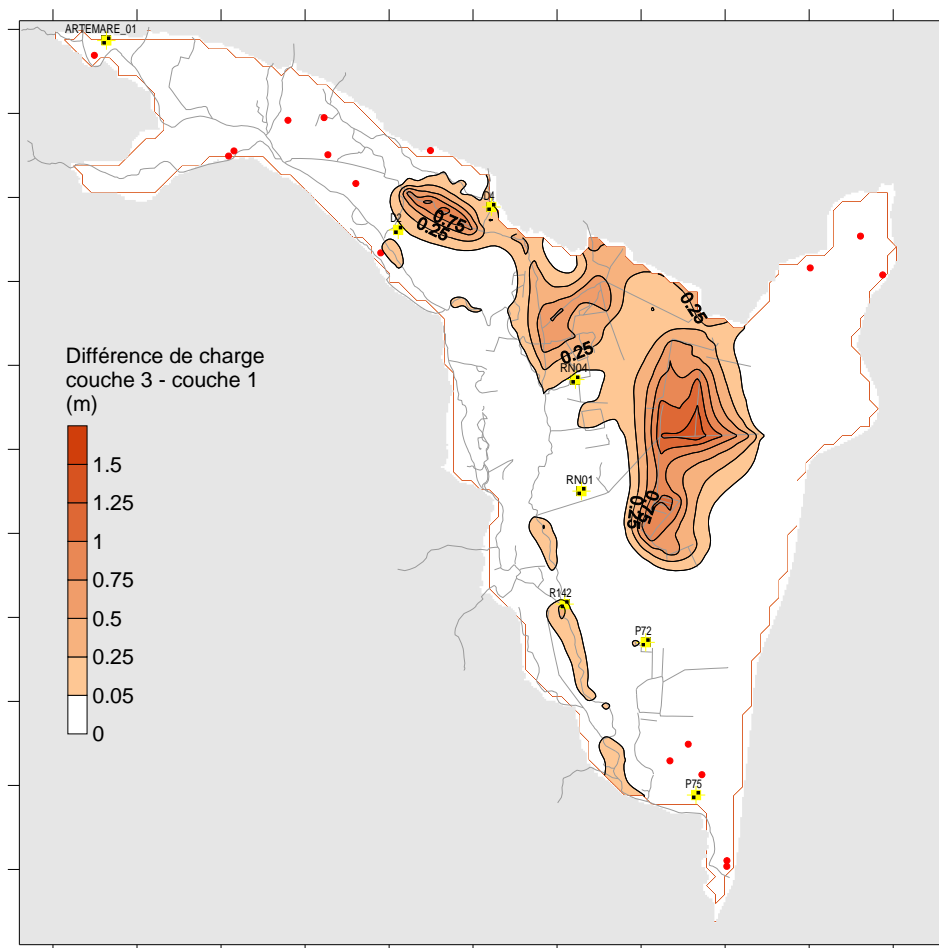
Figure 14 : Piézométrie calculée (mNGF) en régime permanent sur la couche inférieure (Valeur moyenne 2004-2010)

On pourra retenir de ces cartes piézométriques :

- un écoulement de la nappe qui se fait globalement du nord-ouest (secteur Artemare) vers le sud-est avec le Rhône qui impose le niveau de base de l'aquifère sur toute la frange est du modèle ;

- le gradient d'écoulement (pente du toit de la nappe) est variable : il est le plus fort (environ 2 ‰) dans le secteur Artemare pour diminuer fortement sous le marais de Lavours (0.5 ‰) ; il s'établit ensuite aux alentours de 1 ‰ à proximité du Rhône ;
- l'impact des drains sur la piézométrie couche 1 est nettement marqué ;
- les relations entre la nappe et le Séran - qui se notent par des inflexions dans un sens ou dans l'autre sur la piézométrie - varient au long du tracé du cours d'eau : on distingue des zones où le Séran semble davantage alimenter la nappe (la zone amont du modèle, incluant le secteur Artemare) et des zones plus drainantes, en particulier vers l'aval avant la confluence avec le Rhône ; ce point sera détaillé plus loin dans la première simulation prospective ;
- les pompages ne créent pas de dépressions notoires dans la nappe, à l'exception du prélèvement CIAT à Culoz.

D'autre part, il était important de vérifier à ce stade que le modèle restituait bien la mise en charge de l'aquifère inférieur sous l'horizon de tourbe au droit du marais : la carte obtenue par différence de charge hydraulique entre couche 3 et couche 1 du modèle calé en régime permanent est présentée en Figure 15.



Cette dernière carte montre bien qu'un caractère de captivité de la nappe inférieure se crée sous les horizons tourbeux. La différence de charge calculée peut atteindre un maximum de 1.50 mètre au droit des principaux drains du marais.

5.1.3 Bilan des flux

Le modèle mathématique permet d'établir le bilan hydraulique des flux souterrains en régime permanent donné en Figure 16, avec les éléments synthétisés en pourcentages dans le Tableau 14. Par convention, les flux entrant dans le modèle y sont notés en positif et les flux sortant en négatif.

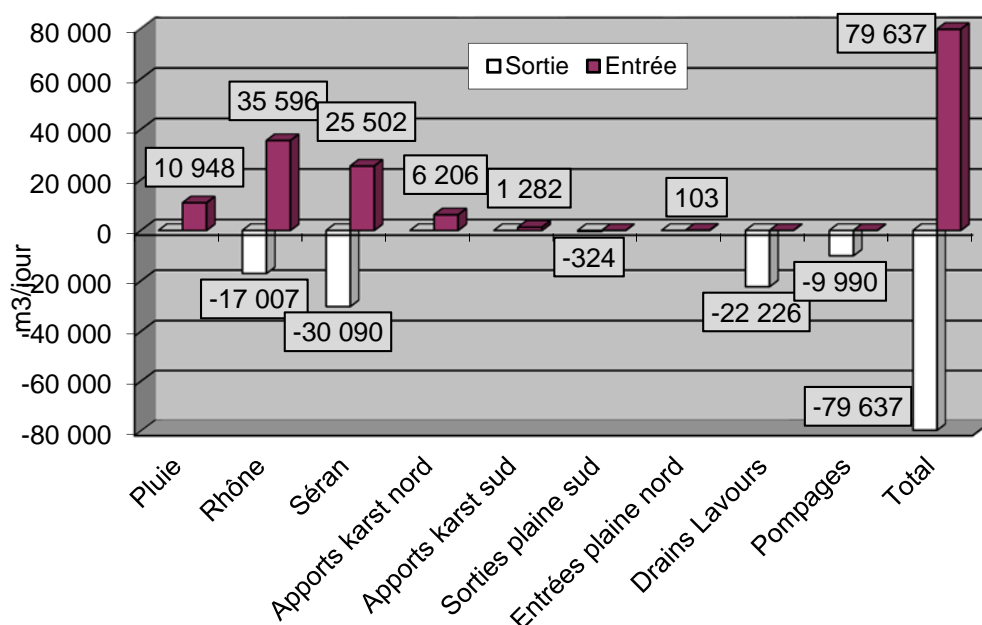


Figure 16 : Bilan hydraulique de la nappe en régime permanent

Tableau 14 : Bilan des flux en régime permanent

Termes du bilan		Entrées (m3/j)	%	Sorties (m3/j)	%
Echanges avec rivières	Rhône	35 596	45%	-17 007	21%
	Sérane	25 502	32%	-30 090	38%
Drains	Lavours	0	0%	-22 226	28%
Apports du karst	Sud	1 282	2%	0	0%
	Nord	6 206	8%	0	0%
Pompages		0	0%	-9 990	13%
Flux plaine du Rhône		103	0%	-324	0%
Pluie		10 948	14%	0	0%
Total :		79 637	100%	-79 637	100%

Les constats pouvant être effectués à l'échelle du modèle sont les suivants :

- un bilan global bien équilibré entre entrées et sorties, ce qui indique la bonne convergence des calculs, le volume journalier d'eau souterraine transitant par le domaine modélisé de l'ordre de 80 000 m³/jour ;
- le Séran joue un rôle majeur dans le fonctionnement hydraulique de l'aquifère : il intervient à la fois en alimentation (32%) et en drainage de la nappe (sorties 38 %), ce qui confirme le constat effectué sur la carte piézométrique ; globalement le Séran draine la nappe à hauteur de 5 000 m³/j ;
- la pluie efficace directe sur la plaine représente 15 % des apports à la nappe (elle a été fixée pour ce régime permanent à 130 mm/an) ;
- les apports de bordure par le karst sont un peu moins importants que la pluie directe en constituant 10 % des entrées dans le modèle ;
- les drains du marais de Lavours sont importants dans le bilan en représentant près de 30 % des sorties d'eau.

5.1.4 Tests de sensibilité en régime permanent

5.1.4.1 Méthodologie

Des tests de sensibilité ont été effectués sur le modèle calé en régime permanent, cette démarche consistant à faire varier le paramètre à tester tout en figeant toutes les autres variables. Au regard des éléments prépondérants dans le bilan des flux, nous avons choisi de tester les paramètres suivants :

- Tests sur les drains du marais de Lavours : une simulation avec suppression des drains (toutes les conditions de type drain sont effacées du modèle) puis deux calculs en augmentant la capacité drainante des fossés avec multiplication du coefficient de passage par 2 puis par 5 par rapport aux valeurs de calage.
- Tests sur les apports karstiques de bordure : deux simulations effectuées, l'une avec suppression totale des apports du karst dans la nappe alluviale, l'autre à l'inverse en augmentant les apports d'un facteur 5.

L'objectif principal de ces tests est de visualiser l'impact de ces paramètres sur la piézométrie restituée : les résultats sont donc donnés sous forme de cartes d'incidence (différence de niveau de nappe entre piézométrie de calage et test de sensibilité) et bilans des flux.

5.1.4.2 Sensibilité sur le paramètre drains

Les résultats sont donnés en Figure 17, Figure 18 et Figure 19 pour la nappe supérieure (couche 1 du modèle) qui est la plus influencée par le réseau de drainage, et par les bilans dans le Tableau 15, Tableau 16 et le Tableau 17.

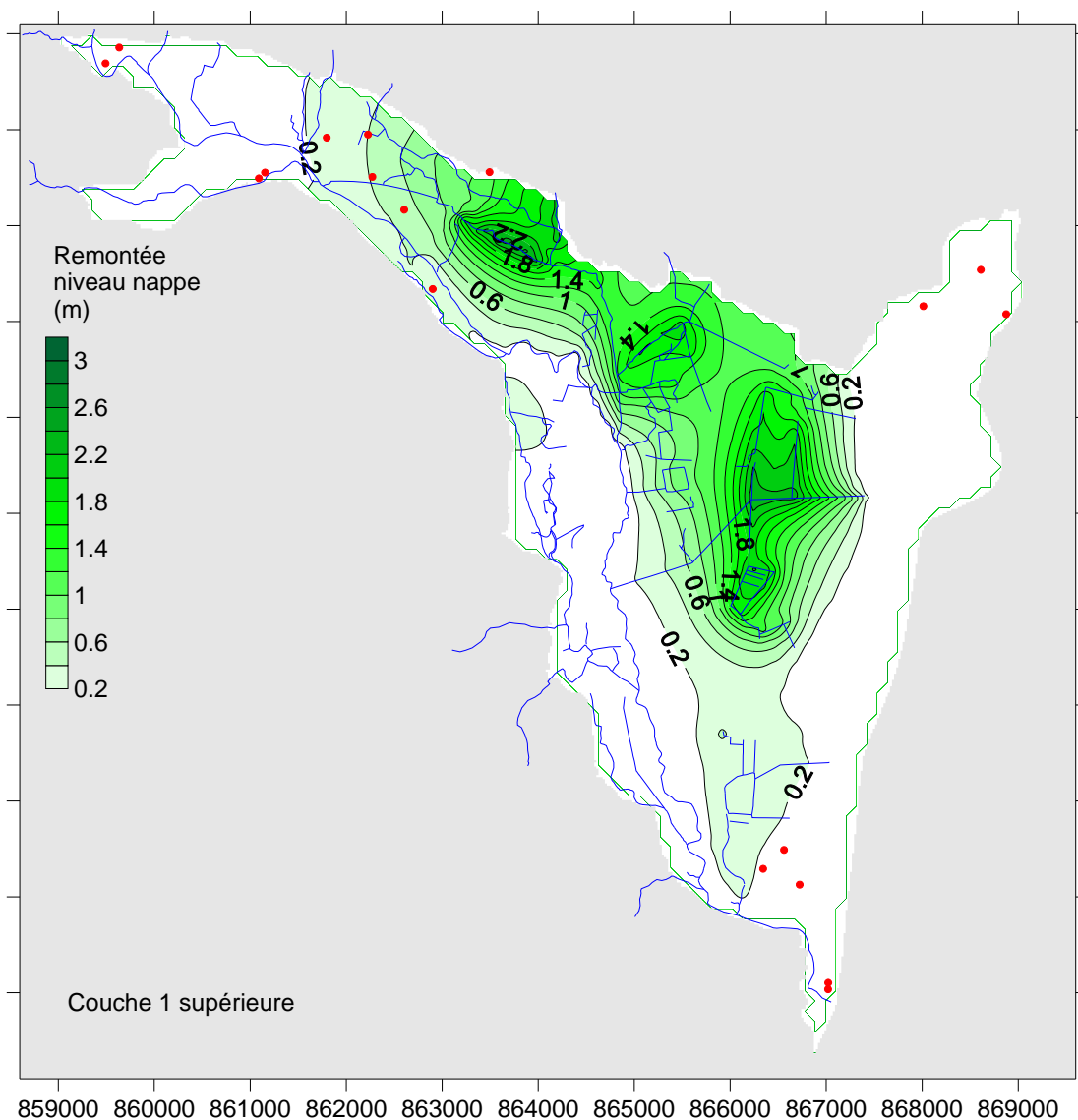


Figure 17 : Piézométrie test drains supprimés

Tableau 15 : Bilan test drains supprimés

Termes du bilan		Entrées (m3/j)	%	Sorties (m3/j)	%
Echanges avec rivières	Rhône	32 792	44%	-19 129	26%
	Séran	22 446	30%	-44 327	60%
Drains	Lavours	0	0%	0	0%
Apports du karst	Sud	1 282	2%	0	0%
	Nord	6 206	8%	0	0%
Pompages		0	0%	-9 990	14%
Flux plaine du Rhône		89	0%	-301	0%
Pluie		10 948	15%	0	0%
Total :		73 763	100%	-73 747	100%

La suppression du réseau de drainage entraine logiquement une remontée de la nappe supérieure sur l'emprise du marais de Lavours : au droit des drains les plus actifs, la hausse piézométrique serait d'environ 2 mètres. Le bilan global du domaine varie peu par rapport à la situation de calage (moins 8 %), on constate que l'eau souterraine qui n'est plus évacuée par les drains l'est au final par le Sérán qui passe de 38 à 60 % des sorties.

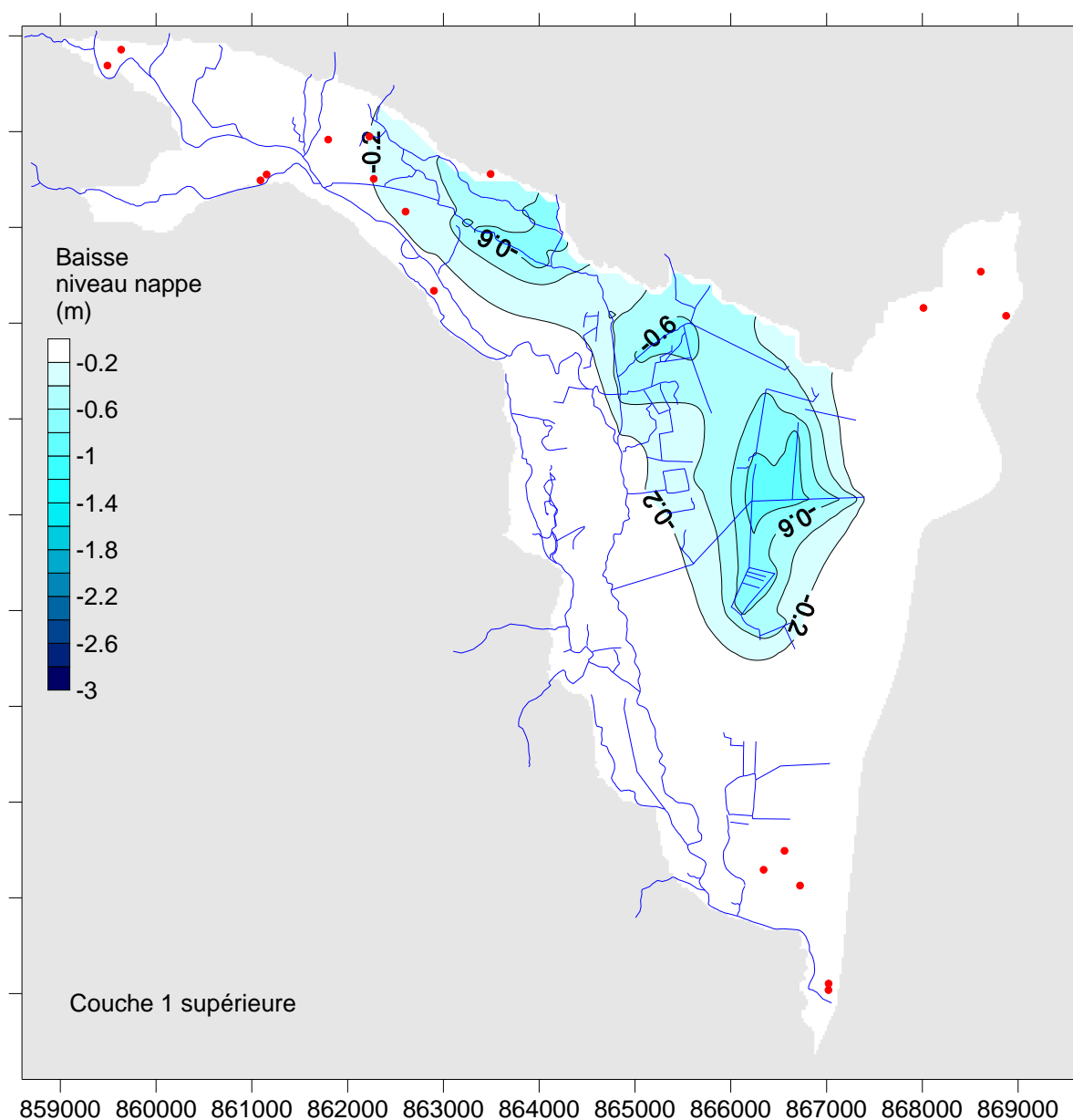


Figure 18 : Piézométrie test capacité drains x 2

Tableau 16 : Bilan test capacité drains x 2

Termes du bilan		Entrées (m3/j)	%	Sorties (m3/j)	%
Echanges avec rivières	Rhône	37 174	44%	-16 052	19%
	Séran	28 061	34%	-24 667	29%
Drains	Lavours	0	0%	-32 774	39%
Apports du karst	Sud	1 282	2%	0	0%
	Nord	6 206	7%	0	0%
Pompages		0	0%	-9 990	12%
Flux plaine du Rhône		90	0%	-303	0%
Pluie		10 948	13%	0	0%
Total :		83 761	100%	-83 786	100%

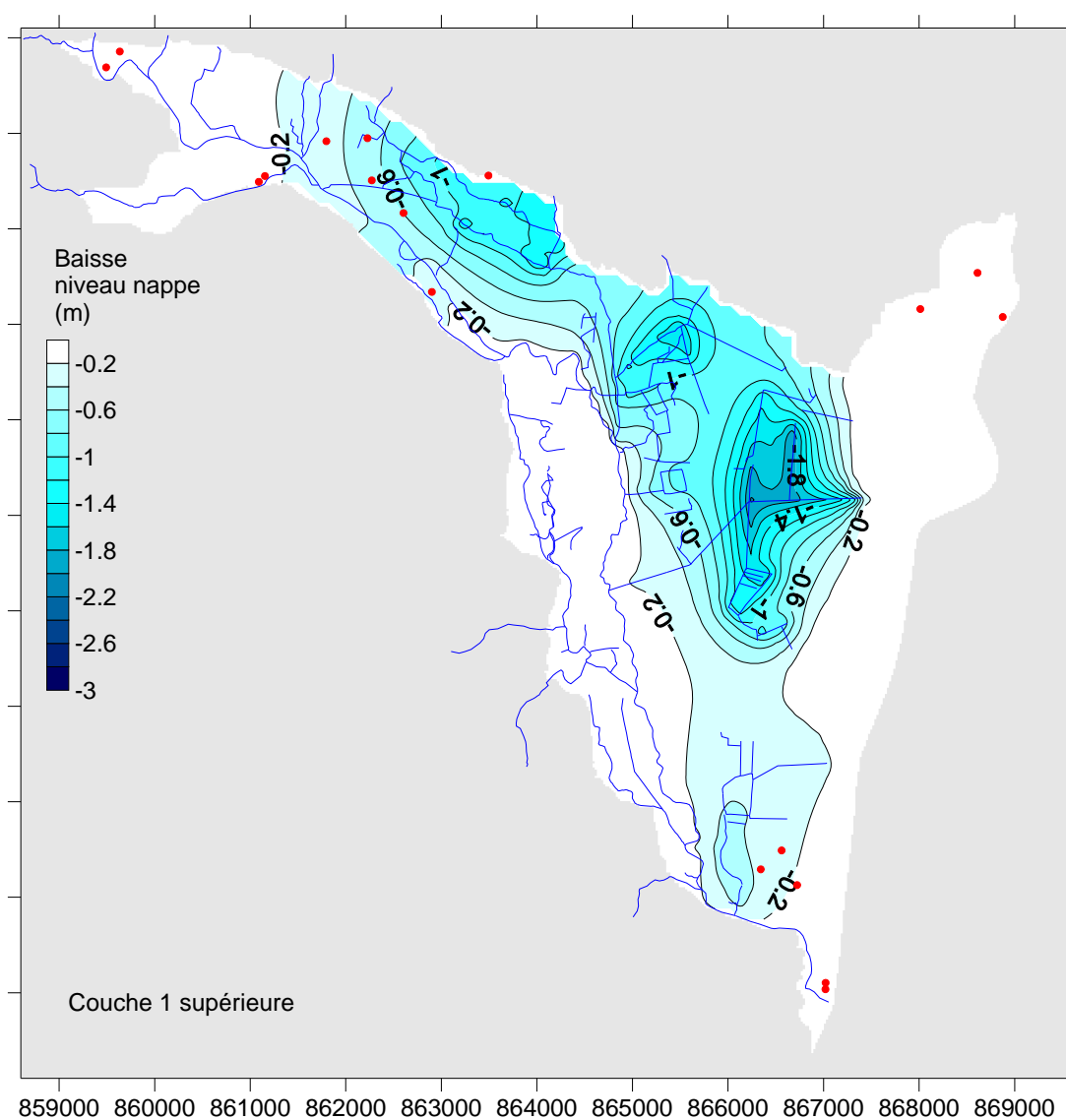


Figure 19 : Piézométrie test capacité drains x 5

Tableau 17 : Bilan test capacité drains x 5

Termes du bilan		Entrées (m3/j)	%	Sorties (m3/j)	%
Echanges avec rivières	Rhône	39 691	43%	-14 790	16%
	Séran	33 241	36%	-18 349	20%
Drains	Lavours	0	0%	-48 045	53%
Apports du karst	Sud	1 282	1%	0	0%
	Nord	6 206	7%	0	0%
Pompages		0	0%	-9 990	11%
Flux plaine du Rhône		90	0%	-301	0%
Pluie		10 948	12%	0	0%
Total :		91 458	100%	-91 475	100%

Le modèle réagit correctement à une augmentation de la capacité de drainage des fossés : en multipliant par 2 puis par 5 le coefficient de passage nappe vers drain, le volume drainé augmente régulièrement jusqu'à représenter plus de la moitié (53 %) des sorties d'eau du modèle. Sur les cartes d'incidence, l'impact sur la piézométrie de la couche supérieure est une baisse pouvant atteindre 1,80 mètre.

Il ressort globalement de ces tests que les valeurs extrêmes (drainage nul ou drainage x 5) engendrent des variations de niveaux de nappe calculés de l'ordre de 2 mètres (en remontée ou en baisse), ce qui éloignerait sensiblement le modèle des valeurs moyennes mesurées (cf. piézomètres de calage en figure 11) : il apparaît donc que la capacité de drainage fixée par calage du modèle constitue un bon compromis et qu'elle est au final cohérente avec la piézométrie mesurée.

5.1.4.3 Sensibilité sur le paramètre apports karst

Les résultats sont donnés en Figure 20 et en Figure 21 pour la nappe inférieure (couche 3 du modèle) qui reçoit les apports du karst, et par les bilans en dans le Tableau 18 et le Tableau 19.

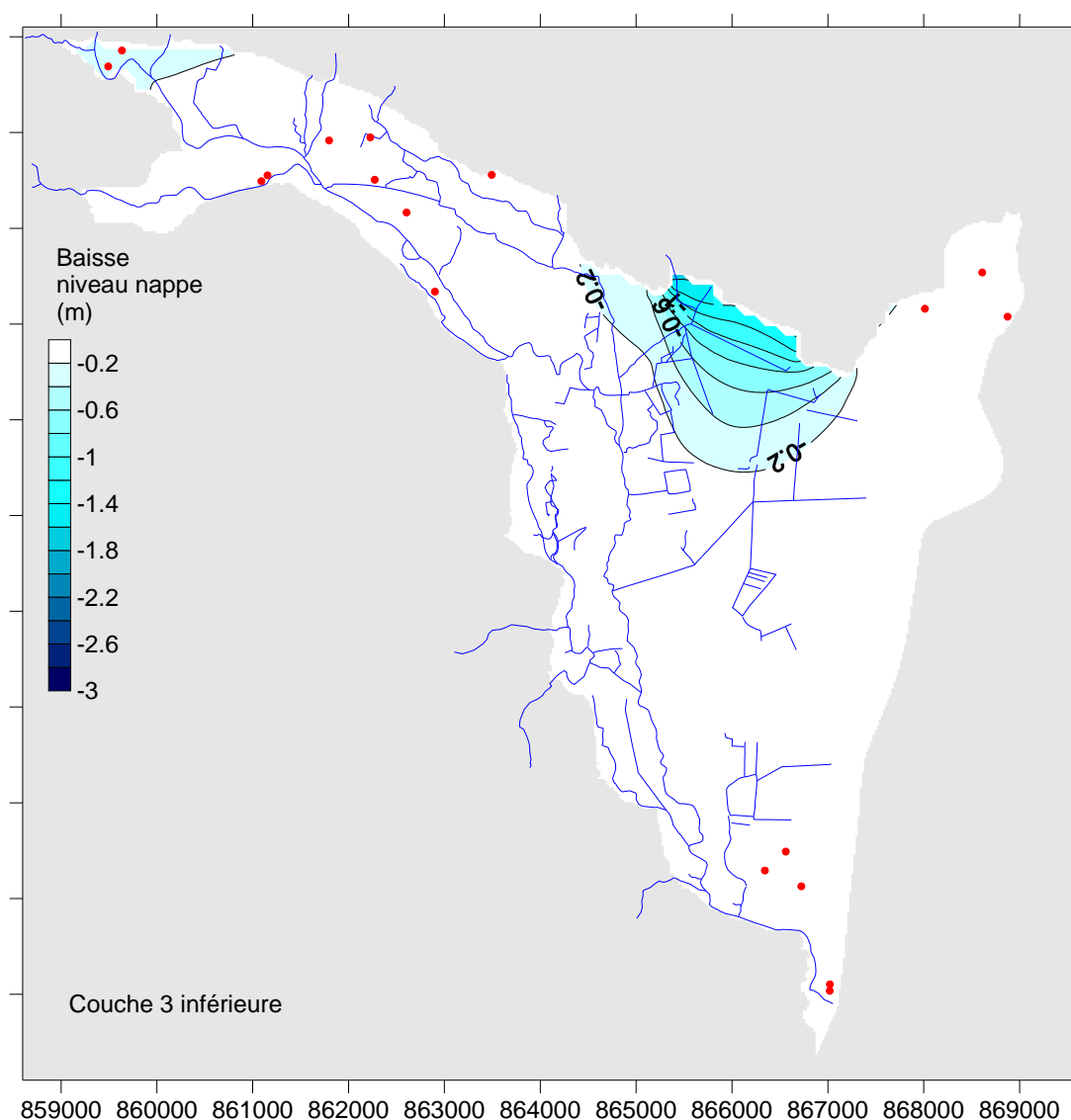


Figure 20 : Piézométrie apports karst à 0

Tableau 18 : Bilan apports karst à 0

Termes du bilan		Entrées (m3/j)	%	Sorties (m3/j)	%
Echanges avec rivières	Rhône	37 050	49%	-16 314	22%
	Séran	27 093	36%	-27 401	36%
Drains	Lavours	0	0%	-21 210	28%
Apports du karst	Sud	0	0%	0	0%
	Nord	0	0%	0	0%
Pompages		0	0%	-9 990	13%
Flux plaine du Rhône		90	0%	-302	0%
Pluie		10 948	15%	0	0%
Total :		75 181	100%	-75 217	100%

Dans ce test avec apports du karst nuls, on constate :

- qu'un impact réellement sensible (environ moins 1 mètre sur la nappe) ne se manifeste que sur un secteur réduit situé en bordure du versant, globalement entre Béon et Culoz ;
- ailleurs, l'impact est très peu marqué, il est en fait inférieur à 20 cm sur la plus grande majorité du domaine alluvial.

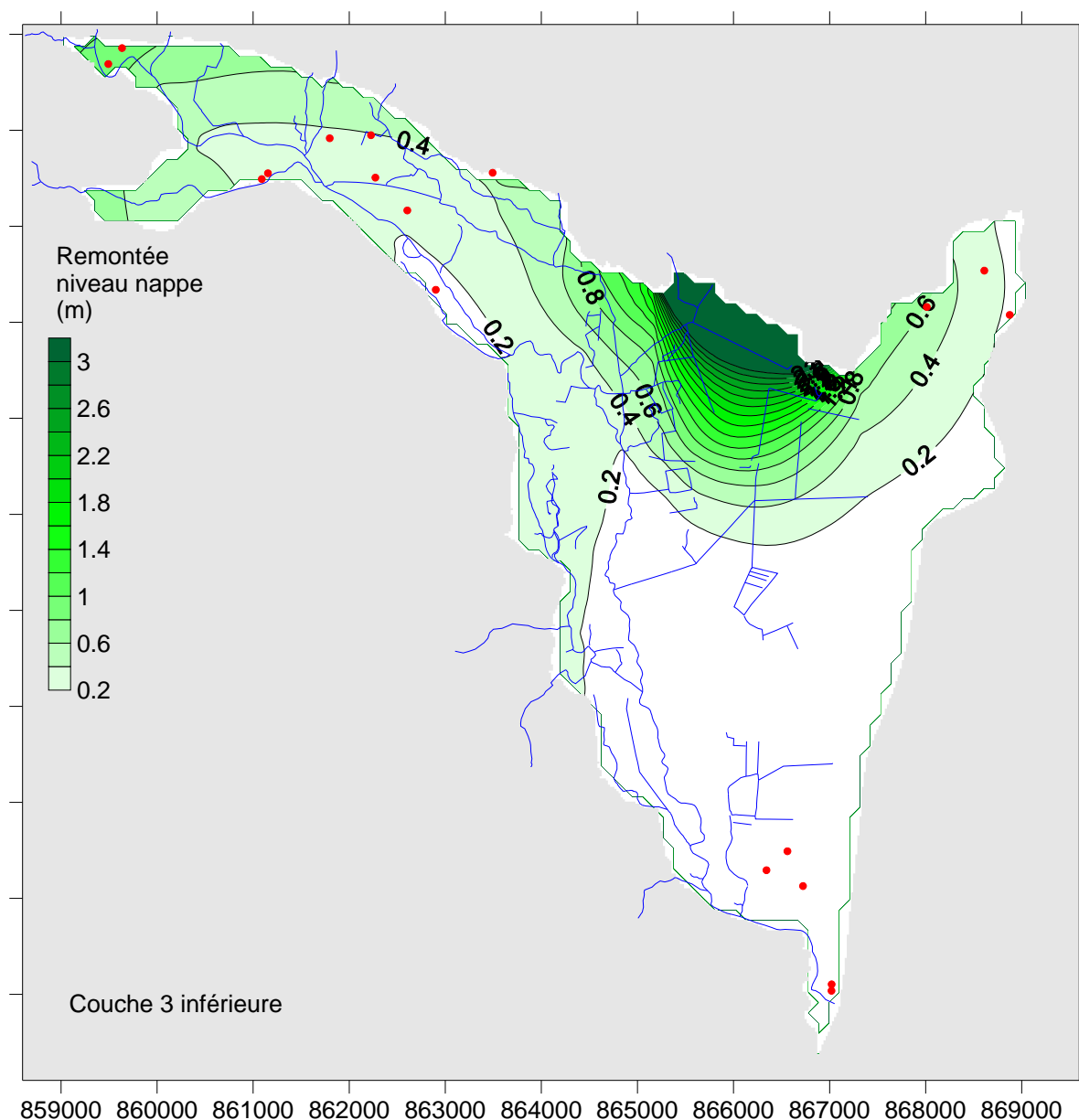


Figure 21 : Piézométrie apports karst x 5

Tableau 19 : Bilan apports karst x 5

Termes du bilan		Entrées (m3/j)	%	Sorties (m3/j)	%
Echanges avec rivières	Rhône	29 973	30%	-19 981	20%
	Séran	20 780	21%	-42 681	43%
Drains	Lavours	0	0%	-26 255	26%
Apports du karst	Sud	6 411	6%	0	0%
	Nord	31 029	31%	0	0%
Pompages		0	0%	-9 990	10%
Flux plaine du Rhône		89	0%	-302	0%
Pluie		10 948	11%	0	0%
Total :		99 230	100%	-99 209	100%

Une tendance un peu identique s'observe sur le test majorant les apports de bordure : un impact assez fort au nord du marais de Lavours (à cet endroit les entrées karstiques se font dans la nappe alluviale captive sous la tourbe et sont de ce fait assez marquées), mais peu sensible ailleurs, quelques décimètres en plus pour la nappe sur le secteur Artemare par exemple.

Au niveau du bilan, on remarque que l'excédent d'eau souterraine est dans ce cas évacué par le Séran : la cote fil d'eau de la rivière tend à régler le niveau général de la nappe et à restreindre les impacts, en particulier en limitant une remontée de la piézométrie.

Les conclusions de ce test sont finalement intéressantes : il montre qu'il serait possible d'envisager des apports karstiques plus forts que ceux retenus sans pour autant perturber fondamentalement la piézométrie calculée. En tout état de cause, il apparaît donc que le modèle ne permet pas de quantifier avec certitude le volume des apports karstiques de bordure. Il est probable que le calage du modèle se situe dans une hypothèse basse quant aux apports du karst, ce qui va dans le sens d'une approche plutôt sécuritaire dans le cadre d'une étude de détermination de volumes prélevables.

5.2 Calage hydrodynamique en régime transitoire

5.2.1 Calage à court terme sur les essais de pompage

Méthodologie

La première partie du travail de calage en régime transitoire a été effectuée sur la base des différents essais de pompage qui ont pu être effectués sur les sites de production AEP. Nous avons ainsi utilisé les trois campagnes d'essais suivantes :

- Captages AEP d'Artemare Cerveyrieu - BURGEAP 1996,
- Puits AEP intercommunal de Béon Talissieu – CPGF 2012,
- Puits AEP de Ceyzérieu - CPGF 2013.

Dans chaque cas, le travail de calage dit de court terme consiste à reproduire au mieux les niveaux de nappe mesurés sur les piézomètres de contrôle lors de ces essais de quelques jours (généralement 3 jours de pompage). Cette phase a notamment permis d'ajuster le coefficient d'emmagasinement qui règle les vitesses de stockage/déstockage de l'eau dans l'aquifère et caractérise finalement l'inertie de la nappe.

Le résultat des calages est donné dans les chapitres suivants, avec les graphiques comparatifs entre piézométrie mesurée au cours de l'essai et piézométrie calculée par le modèle : s'agissant d'anciens documents papier pour les essais, il n'a pas été possible de superposer mesures et calculs sur un même graphique, les graphiques sont cependant présentés à des échelles aussi proches que possible en X et en Y. Pour la description précise du déroulement des essais de pompage, on se reportera aux rapports d'étude listés dans la bibliographie.

AEP Artemare

La zone de captage de Cerveyrieu à Artemare constitue - et de loin – le plus important prélèvement à usage AEP du secteur d'étude.

L'essai de 1996 a une durée de 72 h, effectué selon débit de pompage croissant de 114 à 372 m³/h sur 4 forages.

Dans un premier temps, des tests de sensibilité ont été effectués sur le modèle. Les tests ont porté notamment sur le coefficient d'échange nappe/rivière C qui règle les débits pouvant être échangés entre une rivière et la nappe qui l'accompagne. La Figure 22 donne le résultat des tests effectués sur le piézomètre Pz2 avec le niveau mesuré comparé au calcul pour différentes valeurs de C.

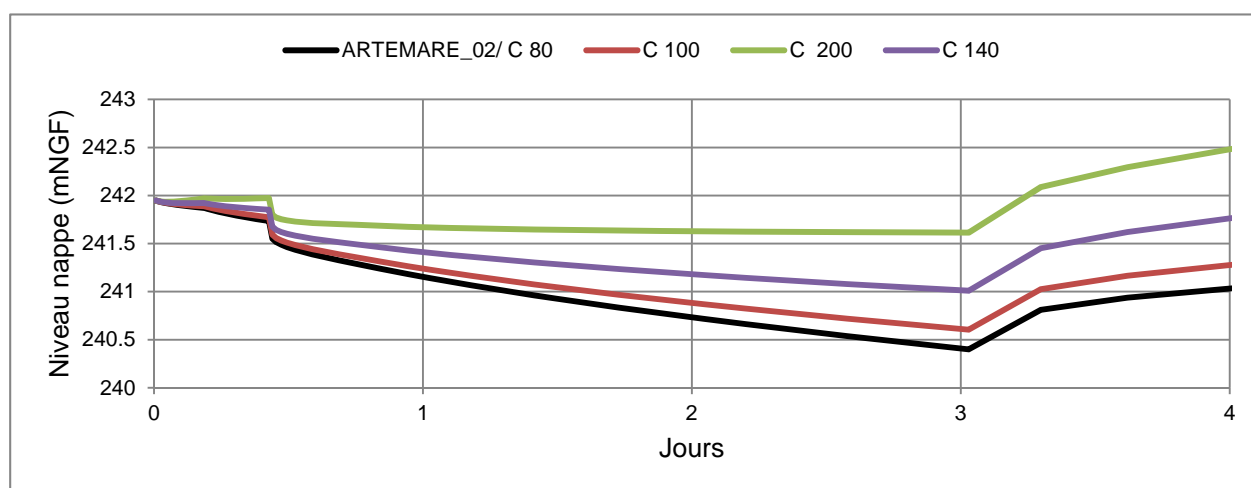


Figure 22 : Essai pompage Artemare – Test de sensibilité

Au terme du calage, les niveaux mesurés et calculés sont donnés respectivement en Figure 23 et en Figure 24. On ne s'intéressera ici qu'aux mesures effectuées dans les piézomètres, soit les courbes supérieures notées Pz en figure 5. En effet, les courbes mesurées dans les puits ne sont pas représentatives de l'aquifère car influencées par les pertes de charge dans les ouvrages.

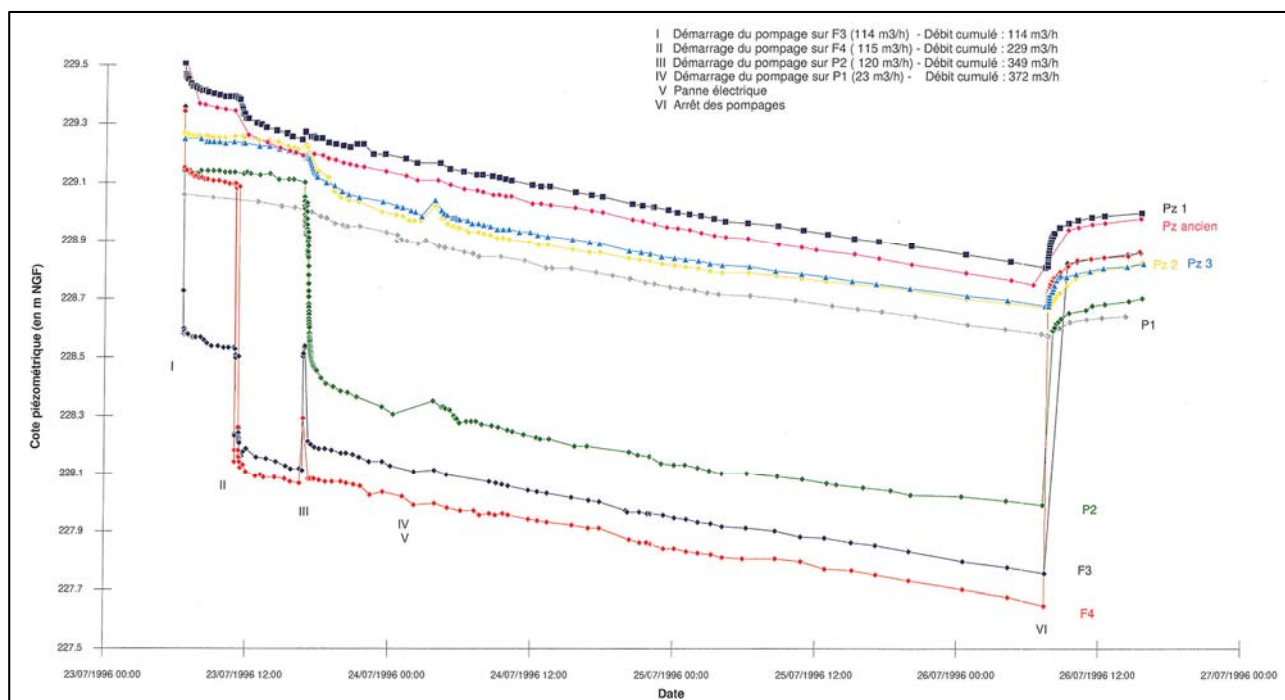


Figure 23 : Essai pompage Artemare – Niveaux nappe mesurés

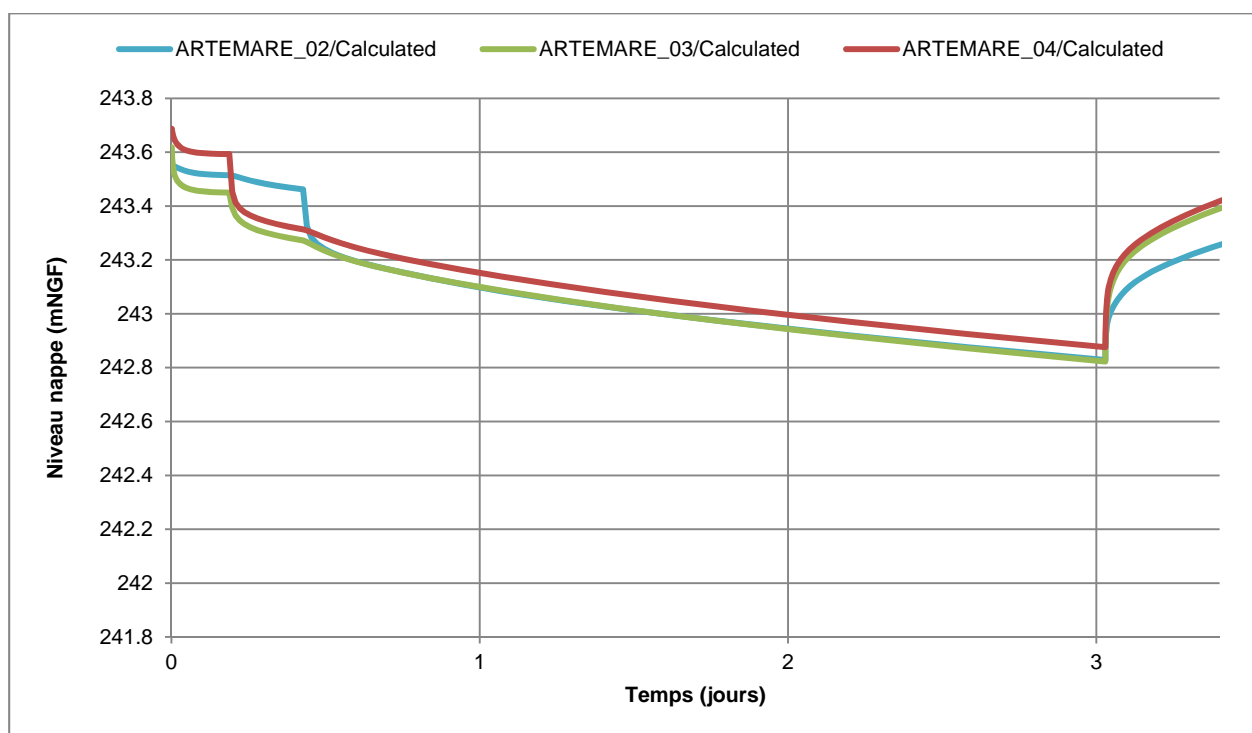


Figure 24 : Essai pompage Artemare – Niveaux nappe calculés

Au regard de ces graphiques, on pourra retenir du calage sur Artemare que :

- le modèle restitue correctement l'amplitude de la baisse mesurée sur les piézomètres de l'ordre de – 0.60 m en 3 jours ;
- il restitue également – et c'est là le point important dans le comportement de l'aquifère – la non-stabilisation des niveaux au cours des pompages : le modèle traduit bien le déficit d'alimentation des captages pour les débits imposés lors de l'essai ;
- dernier point correctement retranscrit, la lente remontée de la nappe en fin d'essai : les niveaux initiaux ne sont pas retrouvés 8 h après l'arrêt des pompages.

AEP Béon

Le pompage de 2012 a une durée de 72 h pour un débit de 60 m³/h.

Les résultats comparés entre mesure et calcul par le modèle sont donnés respectivement en Figure 25 et en

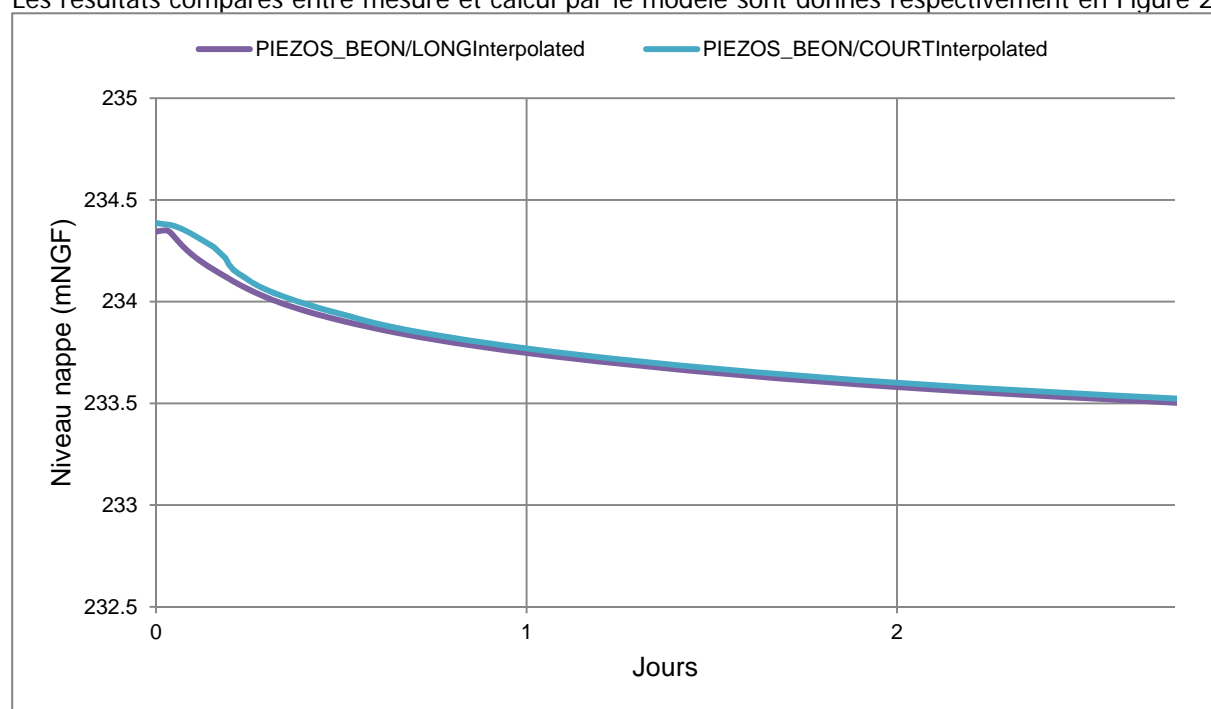


Figure 26.

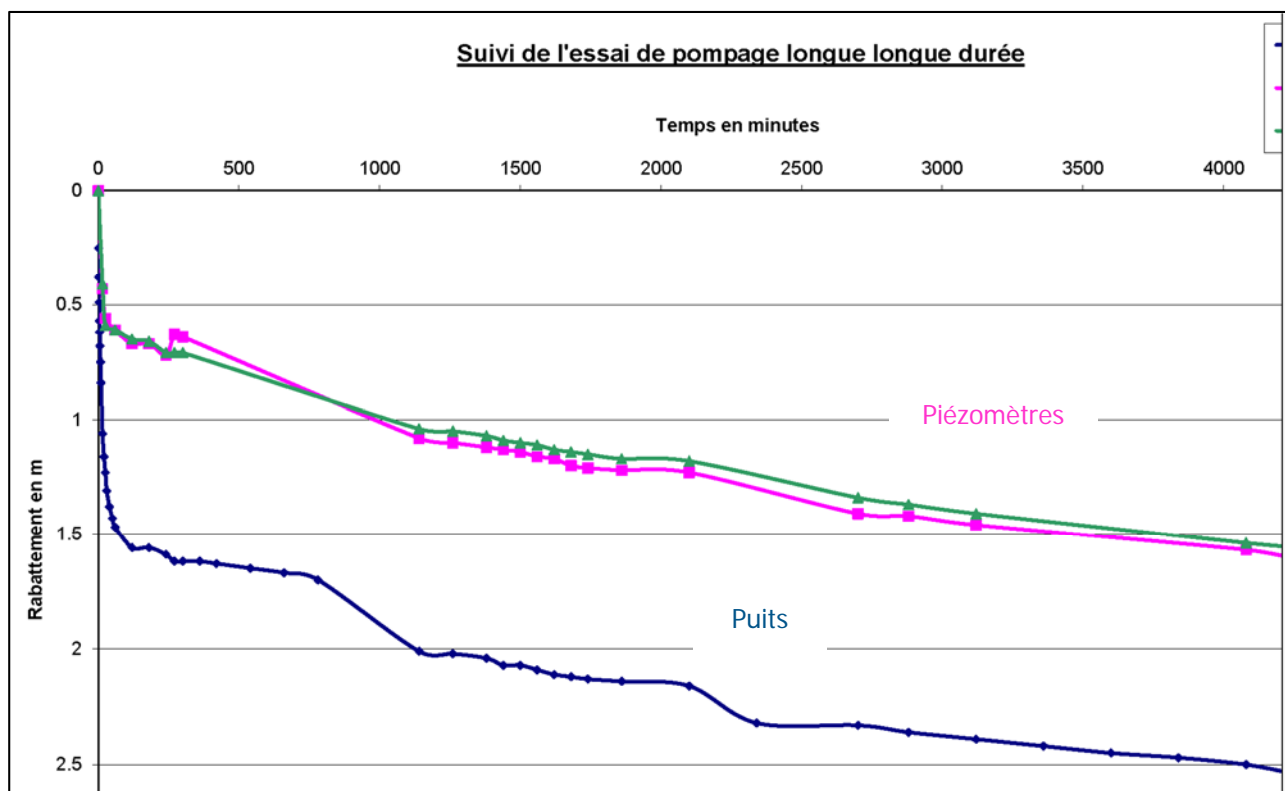


Figure 25 : Essai pompage Béon – Niveaux nappe mesurés (rapport CPGF 11-066, complété)



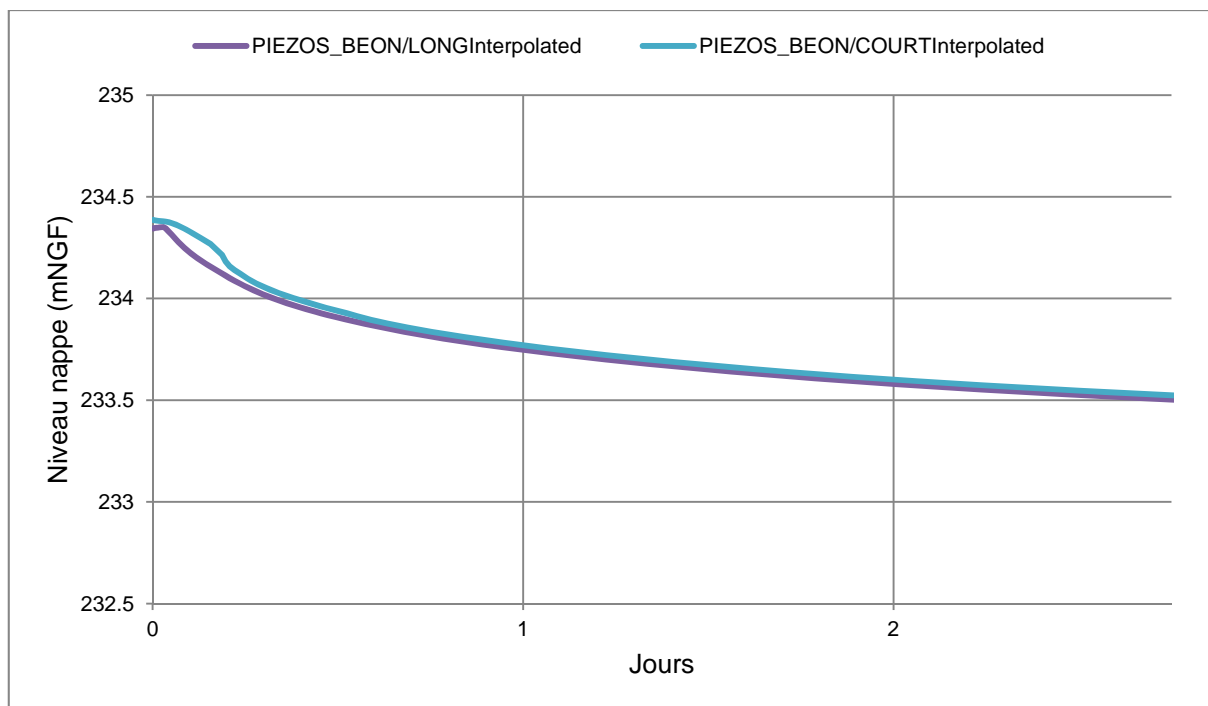


Figure 26 : Essai pompage Béon – Niveaux nappe calculés

Les résultats du calage sont globalement satisfaisants : le modèle retranscrit l'amplitude la baisse de la nappe d'environ 1 mètre, ainsi que la non-stabilisation des niveaux mesurés.

AEP Ceyzérieu

Le pompage de 2013 a une durée de 72 h pour un débit de 40 m³/h.

Pour réaliser ce calage, le modèle est placé est conditions de nappe basse (essai effectué au mois d'août).

Les résultats comparés entre mesure et calcul par le modèle sont donnés respectivement en Figure 27 et en Figure 28.

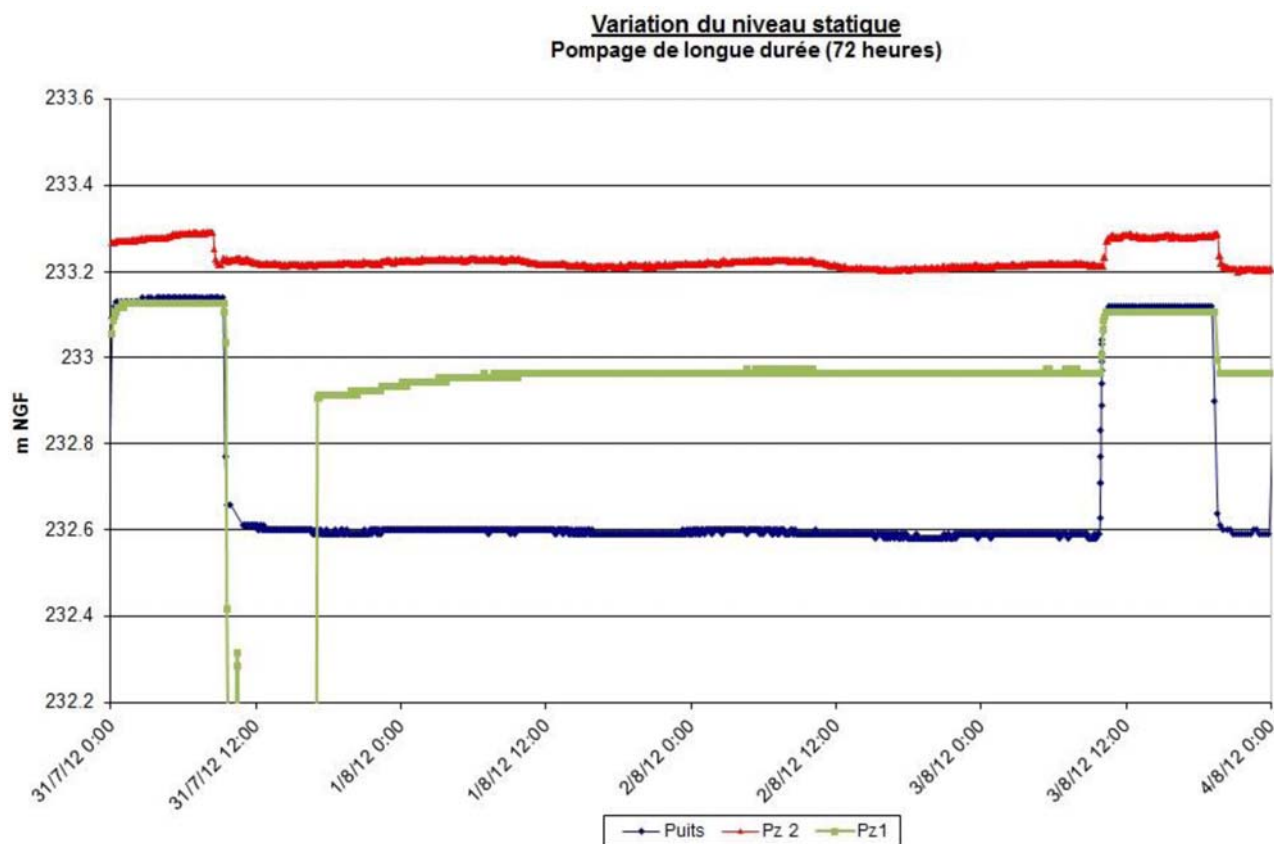


Figure 27 : Essai pompage Ceyzérieu – Niveaux nappe mesurés

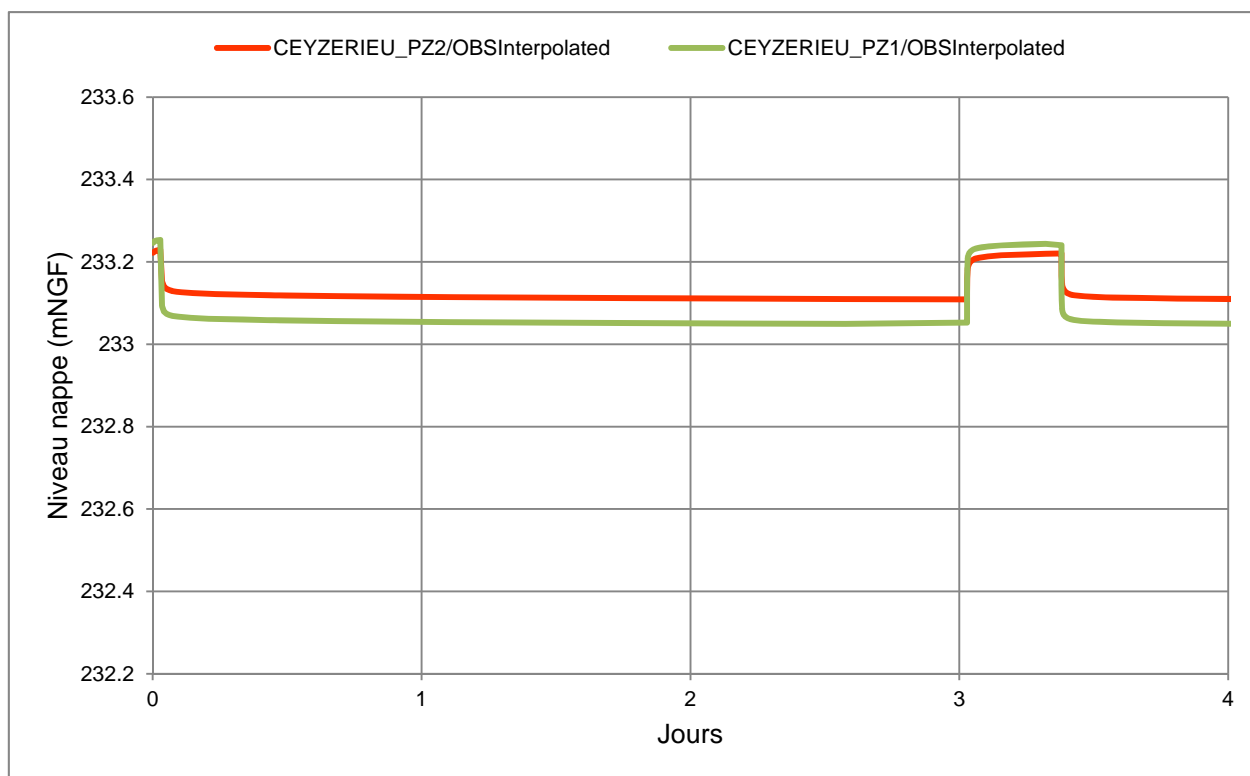


Figure 28 : Essai pompage Ceyzérieu – Niveaux nappe calculés

On retiendra que :

- La valeur des rabattements de nappe sur Pz2 et Pz1 est correctement retranscrite, avec une amplitude de l'ordre de -0.10 et -0.20 m respectivement, du même ordre de grandeur que les mesures.
- Les variations brutales et la stabilisation immédiate des niveaux observée en cours d'essai sont également obtenues par le calcul, traduisant l'effet de la mise en charge de la nappe sous la couverture argileuse.
- En altitude, les niveaux de la nappe sont conformes aux mesures effectuées lors de l'essai de pompage : la cote de la nappe est supérieure d'environ 0.40 m par rapport au niveau du Séran.

5.2.2 Calage long terme

Méthodologie

Le calage du modèle en régime transitoire sur le long terme est la partie la plus importante du calage. Il a consisté à restituer par le calcul les évolutions piézométriques mesurées dans le temps sur les 8 piézomètres sélectionnés sur le domaine : la localisation de ces ouvrages est donnée sur les cartes piézométriques de restitution.

Le calage a été effectué de 2004 à 2010 : cette période a été choisie car c'est sur cet intervalle que l'on disposait au mieux et de manière concomitante des éléments nécessaires au calage :

- données d'entrée du modèle : pluviométrie, ETP, débit Séran et pompages,
- relevés piézométriques pour le contrôle des calculs.

En dehors de cette période 2004/2010, les chroniques piézométriques disponibles sont notamment incomplètes.

Le calcul a donc une durée de 7 ans, effectué au pas de temps mensuel, soit 84 pas de temps au total. Le résultat du calage est donné sur les graphiques en figures dans les chapitres à suivre qui présentent secteur par secteur la comparaison entre la mesure (courbe bleue) et le calcul final de calage (courbe noire) sur chaque piézomètre. Les ouvrages P72, D2, D4 et R142 sont des ouvrages doubles, c'est-à-dire qu'ils disposent de 2 tubes de mesure : le plus court la nappe supérieure de la tourbe (notée SUP sur les graphiques) et un tube plus long (notée INF) captant l'aquifère alluvial inférieur.

Il faut par contre signaler que le secteur d'Artemare pose problème sur cette période car on ne dispose d'aucun suivi piézométrique récent en continu sur ce secteur, il n'a donc pas été possible d'effectuer le calage 2004/2010 comme sur les autres ouvrages (voir § suivant).

Secteur Artemare

Sur le secteur Artemare, le modèle a été calé principalement par ajustement du paramètre d'échange entre la rivière Séran et la nappe en se basant sur le jaugeage différentiel du Séran effectué dans l'étude BURGEAP de 1996. En aout 1996 (lors de l'essai de pompage utilisé plus haut), le débit du Séran avait été mesuré en deux points encadrant le champ captant : un point amont à hauteur du déversement du Fion dans le Séran avec 55 l/s et un point situé 350 m plus à l'aval donnant 29 l/s : à cette date on pouvait donc conclure à une infiltration du Séran vers la nappe de 26 l/s. En pratique, la calage a consisté à ajuster le coefficient d'échange nappe-rivière pour approcher cette valeur dans les bilans de flux du modèle.

La Figure 29 donne une vue en plan du modèle avec la localisation des zones de bilan utilisées pour le calage.

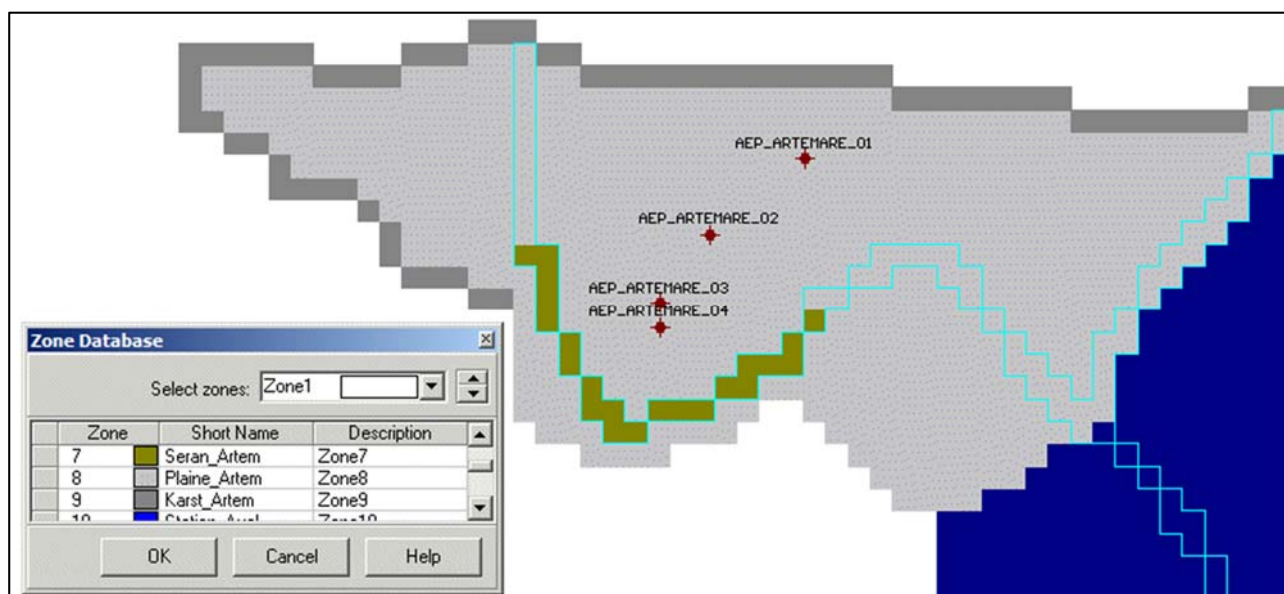


Figure 29 : Artemare – Plan des zones de bilan (modélisation)

Le bilan des échanges rivière vers nappe obtenu au terme du calage pour la période 2004/2010 sur le tronçon du jaugeage différentiel est présenté en Figure 30 :

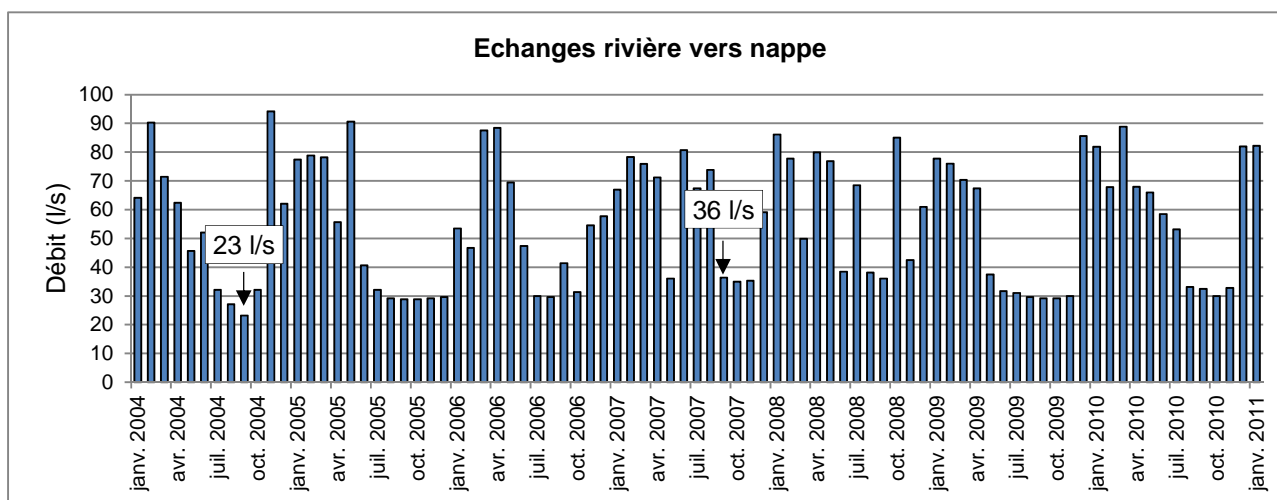


Figure 30 : Artemare – Flux rivière vers nappe (modélisation)

Les débits obtenus sont compris entre 23 et 36 l/s pour les mois d'août de l'historique, ils sont conformes à l'essai de 1996 : ce résultat permet donc de vérifier la cohérence du modèle avec l'alimentation de la nappe mesurée.

Ce paramètre étant fixé, les apports de bordure du modèle ont finalement été ajustés pour obtenir l'amplitude des variations piézométriques interannuelles mesurées sur le secteur : le signal d'entrée des apports du karst sur la boutonnière d'Artemare est donné en Figure 31 :

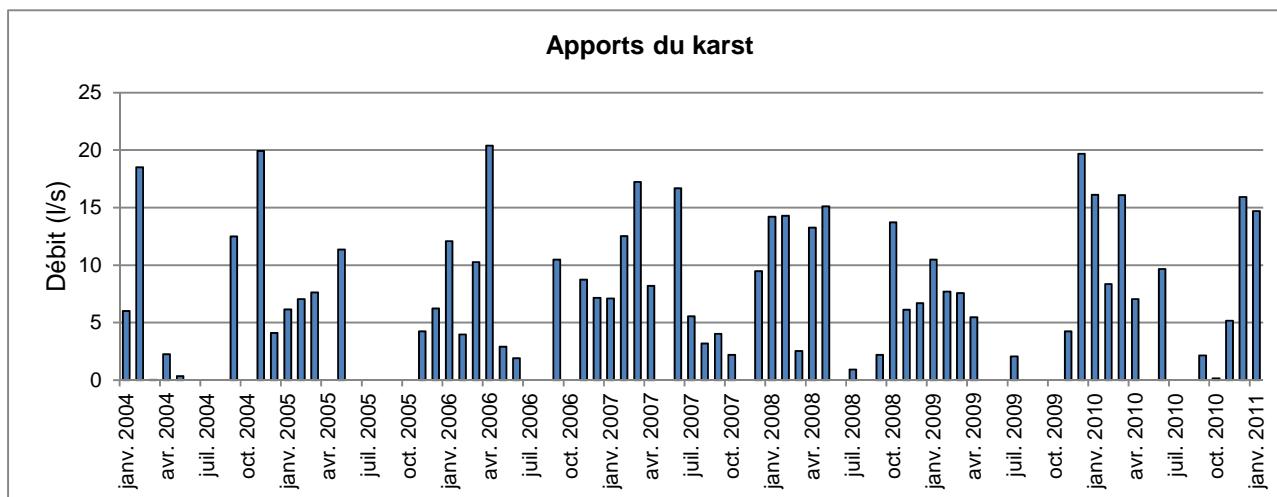


Figure 31 : Artemare – Apports du karst (modélisation)

Il apparaît ainsi par cette approche modélisation, que l'alimentation de la nappe captée sur Artemare se ferait très majoritairement par l'infiltration des eaux du Séran. Il faut cependant noter que ce résultat reste dépendant des hypothèses faites sur le secteur, en particulier l'absence de suivi en continu des hauteurs d'eau dans le Séran nécessite de nuancer ce résultat.

Pour l'approche sur le long terme, à défaut d'enregistrements piézométriques 2004/2010, nous avons utilisé une chronique plus ancienne de 1991/1996 reproduite ci-dessous en figure 15. Ce graphique est intéressant car il montre la dynamique caractéristique de la nappe sur Artemare : on y note une forte amplitude des variations interannuelles du niveau avec un battement de l'ordre de 8 m (alors qu'il se limite à environ 3 m pour le reste de l'aquifère plus à l'aval). Cette particularité a nécessité une approche spécifique pour le calage du modèle, détaillée ci-après.

L'objectif du calage a été d'ajuster les paramètres du modèle pour que celui-ci permette une restitution aussi valide que possible de cette dynamique de nappe, tant en amplitude qu'en inertie (réglage des vitesses de descente ou de remontée). Il est donc clair qu'en termes de résultats on comparera un historique mesuré dans les années 90 (Figure 43) avec un résultat (Figure 33) obtenu par calcul sur des données d'entrée 2004/2010, seule procédure possible pour caler cette dynamique.

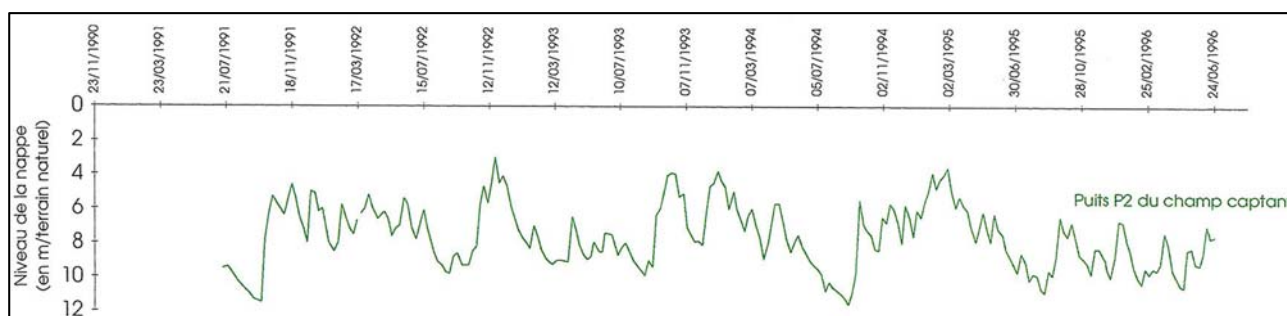


Figure 32 : Artemare – Chronique piézométrique 1991/1996

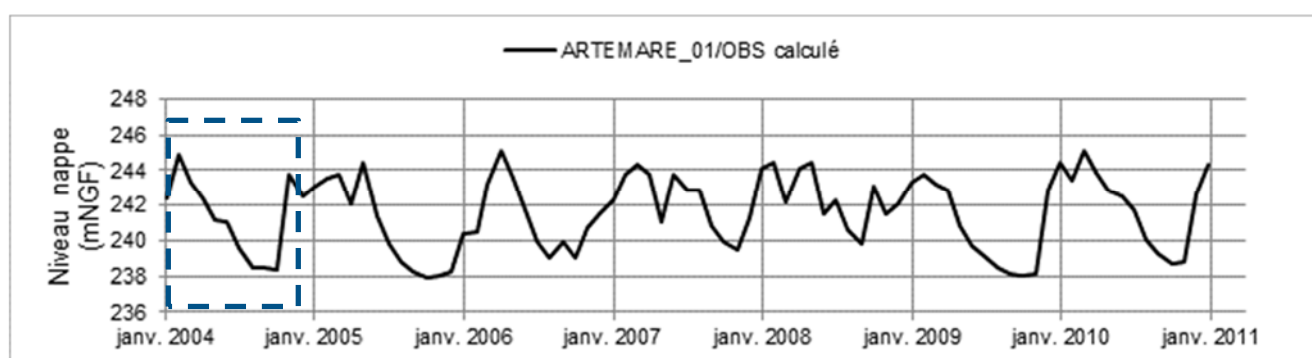


Figure 33 : Artemare – Niveau piézométrique calculé

Si l'on compare les deux courbes (les deux graphiques sont à approximativement à la même échelle), on note que le résultat obtenu est satisfaisant vis-à-vis de l'objectif posé : l'amplitude atteinte par la nappe est d'un peu plus de 7 mètres et l'allure des cycles annuels de descente/remontée est correctement reproduite.

On peut également vérifier le calage sur la période janvier 2004 à octobre 2004 (Figure 34), seul suivi piézométrique disponible dans la bibliographie, issue du rapport EHC de 2004. On voit que le modèle restitue bien la tendance observée durant cette période, avec les bonnes amplitudes :

- Pic à 245 m en janvier 2004, observé par EHC et restitué par le modèle ;
- Baisse durant l'été 2004 observée vers 237,5 m, un peu amortie sur le modèle (vers 238 m) ;
- Remontée marquée en fin d'été observée et bien restituée par le modèle (incertitude sur la fin de la chronique limité à septembre pour EHC)

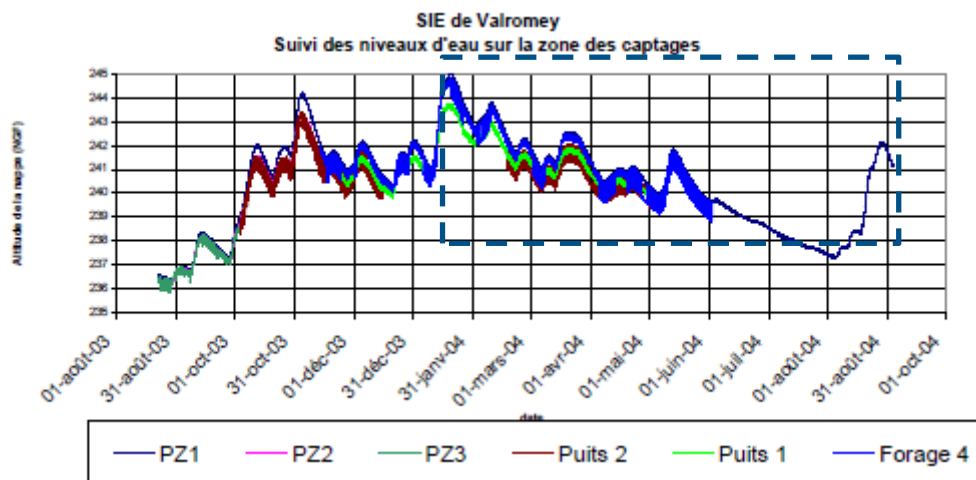


Figure 34 : Artemare – Niveaux piézométriques observés par EHC

Test de sensibilité sur la recharge de la zone d'Artemare

Un test de sensibilité a été réalisé pour vérifier les ordres de grandeur de la recharge, en particulier pour connaître la ressource exploitable dans la plaine d'Artemare pour l'eau potable, suite à la divergence des avis entre l'étude BURGEAP de 1996 et l'étude EHC de 2004 (Tableau 20). Pour rappel, les conclusions des deux bureaux d'études, quant aux possibilités d'exploitation du champ captant d'Artemare (et donc la recharge de cette zone) sont les suivantes :

Tableau 20 : Estimation de la recharge à Artemare - Hypothèses de BURGEAP (1966) et EHC (2004)

	Réalimentation	Débits exploitables
BURGEAP 1996	Essentiellement Seran, pertes mesurées de l'ordre de 25 l/s, possibilité d'alimentation karstique faible	130 à 200 m ³ /h, soit un ordre de grandeur 1,1 Mm ³ /an à 1,7 Mm ³ /an.
EHC 2004	Pas de réglementation par Seran, mais ensemble du karst Jurassique	3500 m ³ /h +/- 800 m ³ /h, soit de l'ordre de 13 Mm ³ /an (hypothèse de 10 h/24)

Le test de sensibilité a porté sur les flux d'entrée, à la fois les apports du Seran et les apports du karst en bordure dans la zone d'Artemare, sur la situation transitoire 2004-2010 (Tableau 21).

Tableau 21 : Tests de sensibilité sur la recharge à Artemare

Simulation 2004	Apports Seran	Apport karst
Calage modèle	23 à 90 l/s suivant les périodes de recharge (moyenne 40 l/s)	0 à 20 l/s selon les périodes de recharge (moyenne 5 l/s)
Augmentation x5 apports du karst après calage	Inchangé : 23 à 90 l/s	5 fois plus : 0 à 100 l/s (moyenne 25 l/s)
Apport karst du Jurassique hypothèse EHC 2004	nul	En moyenne 405 l/s (fluctuations selon les saisons)

Les résultats des simulations (Figure 35) sont présentés dans la figure qui suit avec en courbe noire le calage du modèle, en courbe rouge l'augmentation par 5 des apports du karst selon le calage et en vert selon les hypothèses d'apports de karst du Jurassique par EHC.

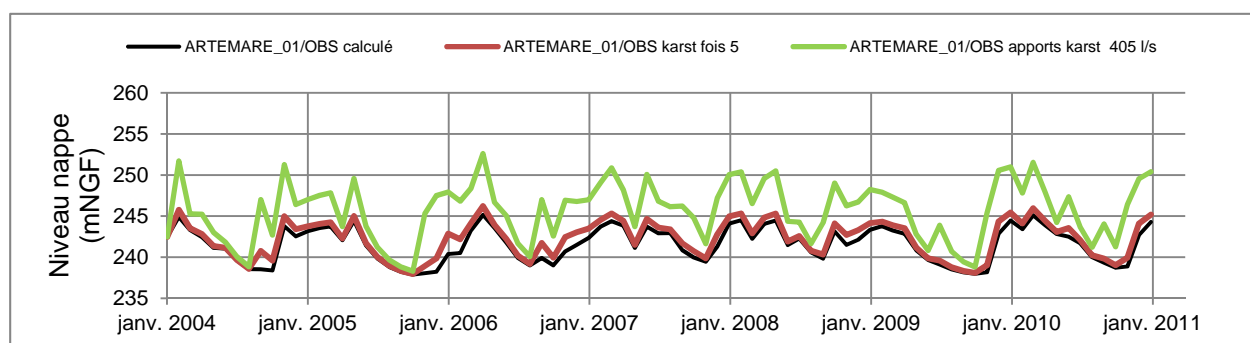


Figure 35 : Artemare – Niveau piézométrique calculé – augmentation des apports du karst (5 fois le débit de calage et hypothèse EHC 2004)

Tous les minimas sont concordants, car nous avons fait les mêmes hypothèses pour les apports du karst nul en l'absence de précipitations efficaces, mais qui réagissent aux précipitations.

Les résultats montrent que la courbe rouge se situe environ 1 m au-dessus de la courbe noire du calage du modèle. En ordre de grandeur, cette valeur reste dans la gamme des fluctuations piézométriques observées et reste une valeur réaliste de la recharge, peut-être légèrement surestimée. Par contre, la courbe verte montre des niveaux piézométrique au puits d'Artemare jusqu'à plus de 7 m au-dessus des niveaux calés, atteignant parfois la cote du terrain naturel : ces valeurs sont aberrantes et ne peuvent correspondre à une situation existante, même en changeant les autres paramètres de calage du modèle (épaisseur des formations, perméabilité, emmagasinement, etc...).

Dans les faits, on peut retenir un bon ordre de grandeur sur la somme des apports dans la zone d'Artemare du Séran et du karst en bordure. Nous retiendrons la valeur de calage telle qu'elle existe actuellement en ayant bien conscience :

- que la part des apports entre le Seran et le karst est variable. Nous avons retenu l'hypothèse d'un apport majoritaire du Seran par rapport à des apports du karst, mais la zone d'Artemare est très complexe, et on ne peut pas exclure une alimentation mixte, ou avec une variabilité saisonnière plus marquée.

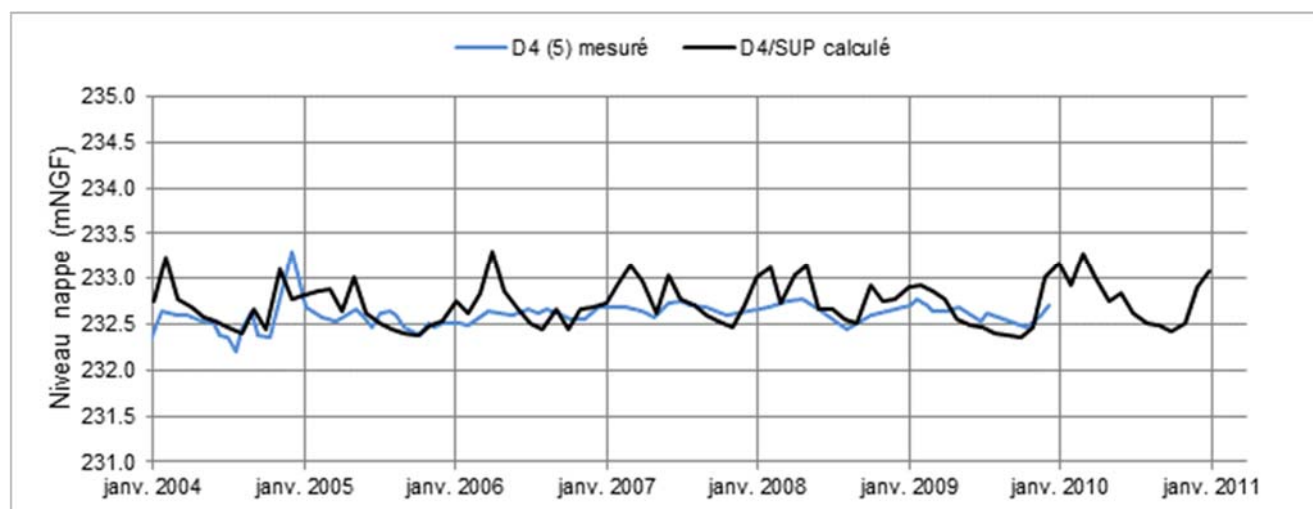
- que la part des apports globaux à Artemare pourrait être revue un peu à la hausse en valeur absolue dans ce secteur, sans pour autant changer fondamentalement le bilan des flux de l'ensemble du modèle. Nous gardons l'hypothèse du calage qui semble la plus réaliste et la plus sécuritaire.

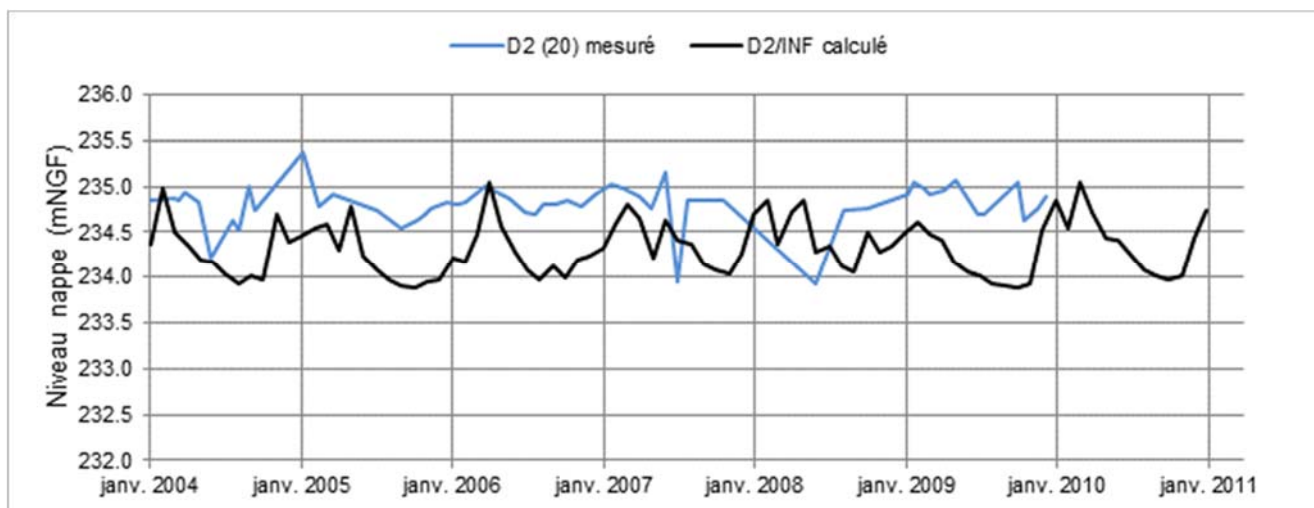
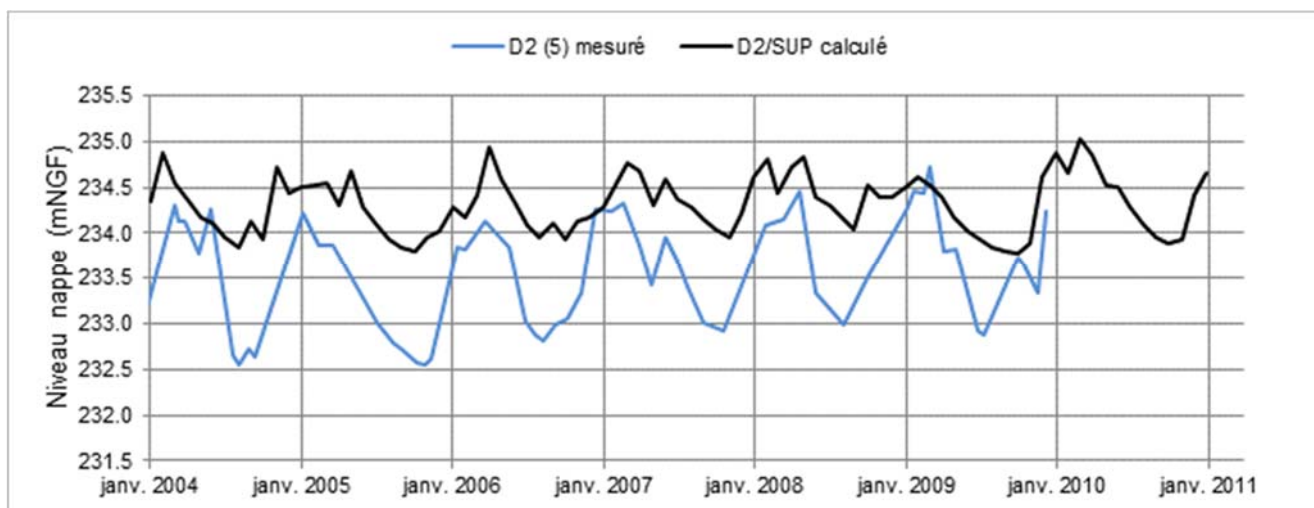
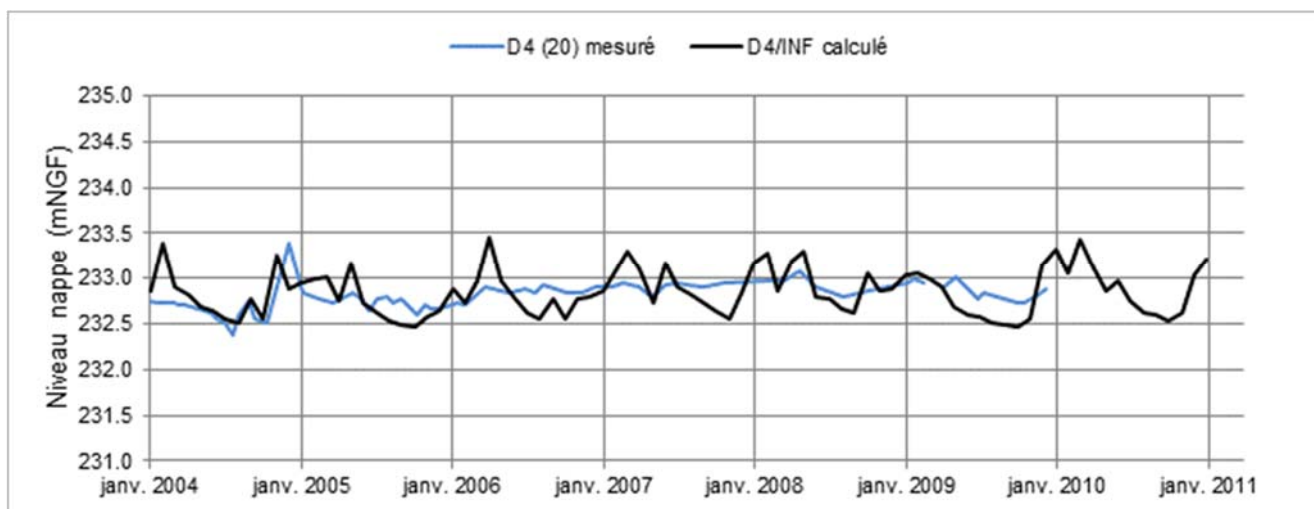
Pour ces deux points, nous ne disposons pas des données suffisantes dans le secteur (ce point sera du reste une étape d'acquisition nécessaire par le syndicat). **Dans tous les cas, et toujours en ordre de grandeur, le modèle réagit bien et montre sans équivoque que l'hypothèse EHC est irréaliste (multiplier par 10 le débit d'exploitation des puits d'Artemare !). Même si la connaissance de cette zone est perfectible, cette hypothèse est aberrante et doit être écartée, l'ordre de grandeur réaliste pour l'exploitation des puits d'Artemare se situant en dessous de 2 Mm³/an dans la zone d'Artemare. Elle correspondant au débit moyen de la recharge de 65 l/s (25 l/s en permanence par le karst et en moyenne 40 l/s par le Séran, la proportion des deux d'apport peut varier dans le temps). Cette valeur de calage (65 l/s ou 2 Mm³/an, en valeur absolue de la recharge de la zone) est jugée légèrement maximaliste dans le test de sensibilité, ce qui permet de caller une valeur maximale d'exploitation en dessous de la recharge soit, inférieure à 2 Mm³/an.**

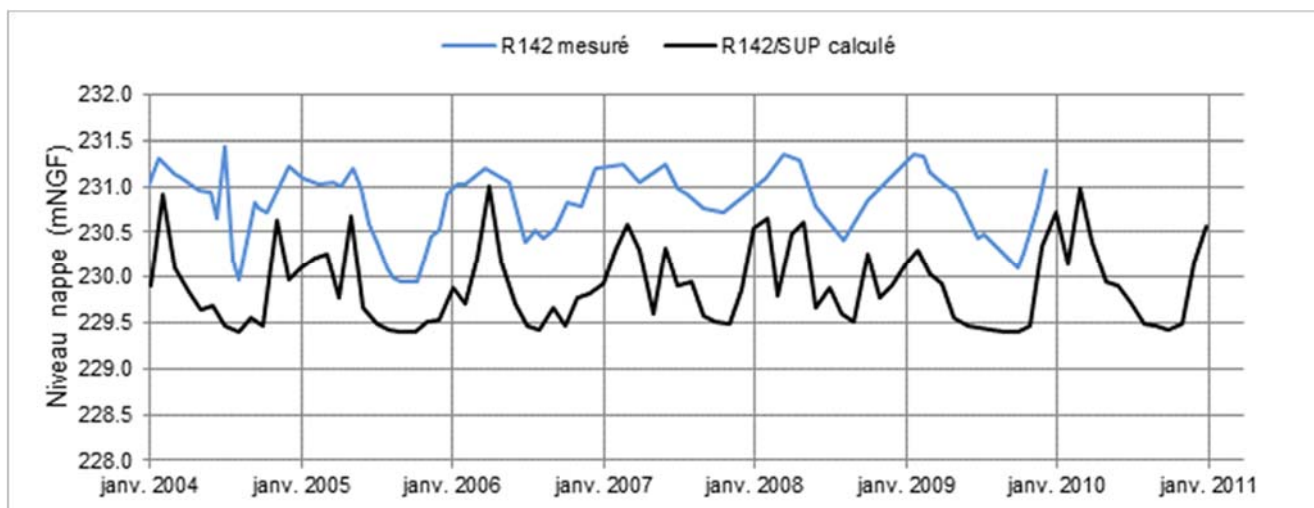
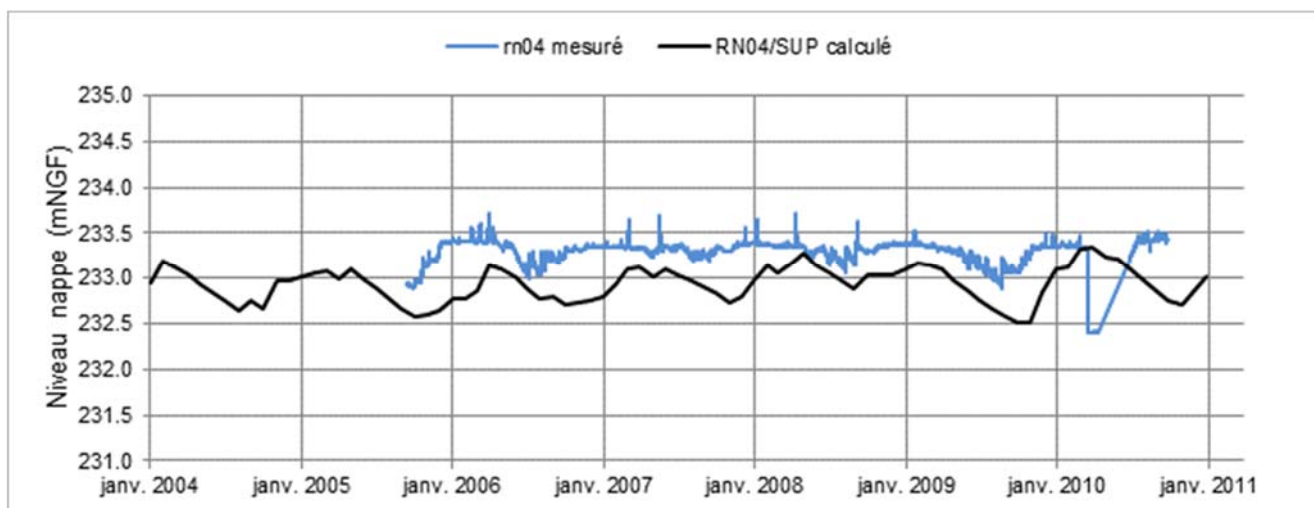
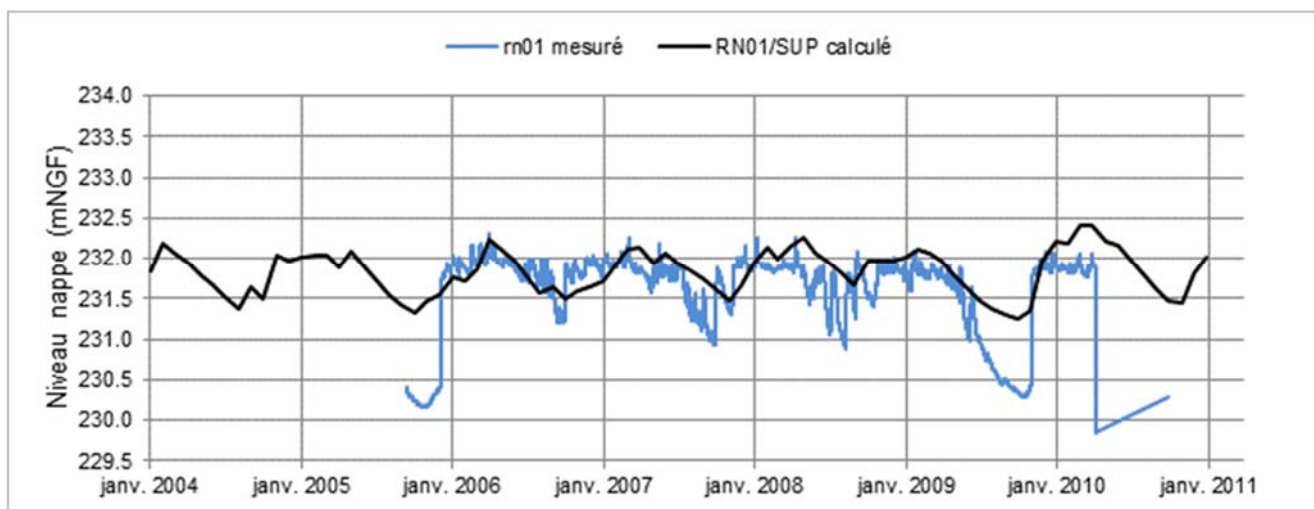
Secteur centre Marais de Lavours

La comparaison entre les niveaux de nappe mesurés (courbes bleues) et les niveaux calculés par le modèle (courbes noires) au terme du calage est donnée sur les graphiques en Figure 36 ci-après. La localisation des piézomètres de suivi est donnée sur les cartes piézométriques en régime permanent (figures 11 et 12). L'objectif du calage était de reproduire les deux éléments primordiaux traduits par les mesures :

- L'amplitude annuelle du battement de nappe, de l'ordre de 1 à 3 m à selon les points,
- La stabilité d'ensemble du niveau de l'aquifère sur les 7 ans de mesure, avec des niveaux 2010 sensiblement égaux aux niveaux 2004 : il s'agit de l'aspect essentiel du calage, qui consistait à s'assurer que les conditions d'alimentation du modèle étaient corrects : pluie directe, apports karstiques de bordure et niveaux du Séran.







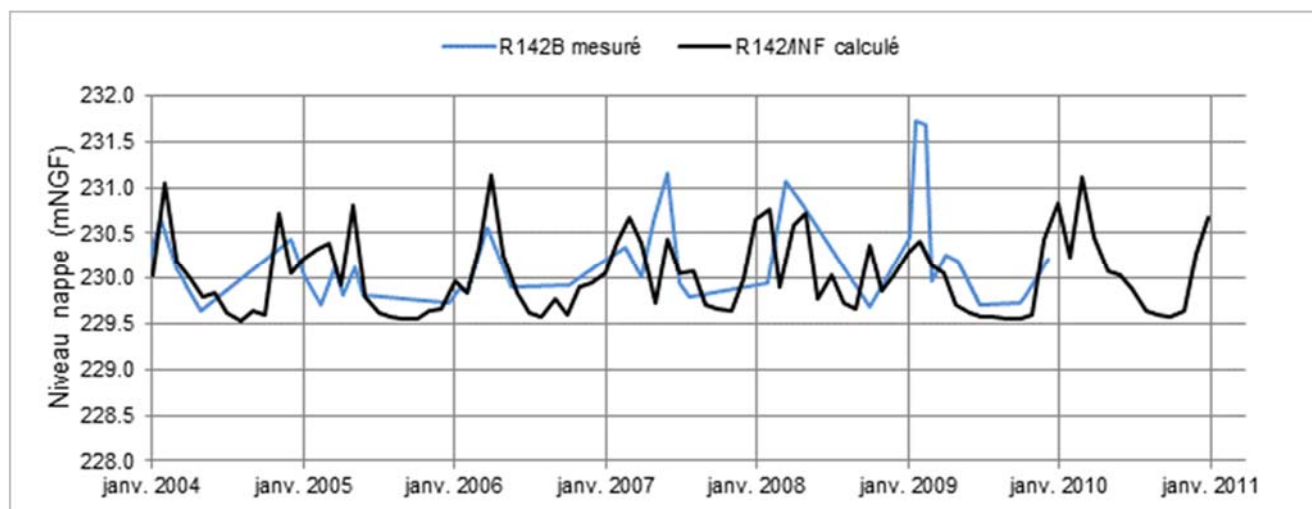


Figure 36 : Lavours – Comparaison piézométrie calculée/mesurée

D'une manière générale, la totalité des graphiques montre que la stabilité du système aquifère entre 2004 et 2010 est bien restituée : ceci montre que les données d'entrée du modèle pour l'alimentation de la nappe sont correctes sur le long terme. Il s'agit d'un point important.

Dans le détail, les commentaires sur ces résultats sont les suivants :

- Piézomètres D4 : le niveau d'ensemble de la nappe est correctement retranscrit par le modèle, tant pour la nappe supérieure que pour la nappe inférieure. Le cycle annuel de battement de nappe est correct en début d'historique, il est ensuite un peu surestimé par le calcul.
- Piézomètres D2 : la piézométrie de la nappe inférieure est globalement bien restituée. On note par contre que le niveau calculé pour la nappe supérieure est plus haut que la mesure de 1 à 2 mètres : l'effet de charge entre les deux aquifères n'est pas correctement retranscrit à cet endroit.
- Piézomètre RN01 : le calcul est conforme à la mesure, excepté pour l'année 2009 où la baisse de niveau n'est pas retranscrite (on notera que cette baisse de la piézométrie n'a pas été mesurée dans les autres piézomètres).
- Piézomètre RN04 : le niveau calculé est légèrement en dessous du niveau mesuré (moins 1 mètre en moyenne), mais les tendances interannuelles sont correctes.
- Piézomètres R142 : le niveau de nappe calculé pour la nappe inférieure est satisfaisant. Là également, le modèle ne parvient à restituer le niveau de la nappe supérieure, l'ampleur calculée pour la charge entre les deux nappes est insuffisante (écart de 1 à 2 mètres).

Secteur aval Rhône

La comparaison calcul/mesure est présentée sur les graphiques en Figure 37. Sur ce secteur à l'aval de la vallée du Séran, les variations de niveau de nappe sont influencées par le niveau du Rhône, les variations sont plus brutales (sans doute à relier aux crues du Rhône), l'amplitude annuelle est davantage marquée avec un battement atteignant de 4 à 5 mètres.

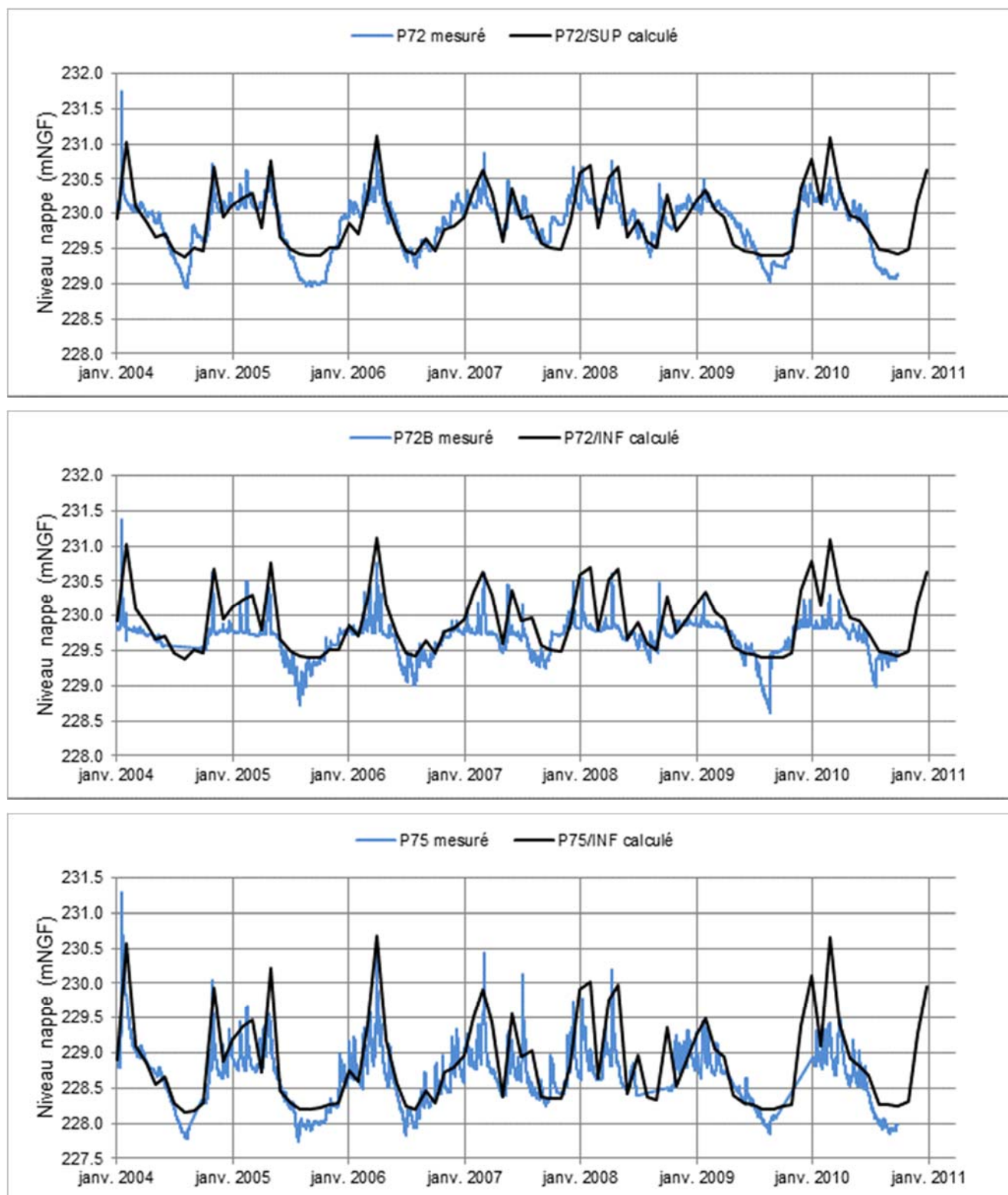


Figure 37 : Secteur Rhône – Comparaison piézométrie calculée/mesurée

Sur ces deux ouvrages, la piézométrie est correctement retranscrite. Sur ces courbes, notons que du fait du pas de temps mensuel adopté pour le calage, les effets de crue ou d'étiage ne sont pas reproduits dans le détail, mais la réponse d'ensemble du modèle est satisfaisante.

6. Analyse prospective par simulations

6.1 Approche méthodologiques

Il s'agit ici de mettre à jour le travail du groupement EMA Conseils et Eaux et Territoires sur le fonctionnement hydrodynamique et la quantification des ressources (souterraines et de surface), avec l'appui du modèle de nappe. Nous étudierons le bilan des flux du modèle et une expertise des facteurs qui influencent ce bilan dans le temps :

- Evolution des volumes prélèvements selon les usages au regard de la recharge moyenne ;
- Variations dans la recharge de la nappe liée (pluie, apport du karst) ;
- Interaction entre prélèvement et étiage dans des situations d'étiage sévère, avec par exemple le renforcement des prélèvements en nappe pour l'eau potable au détriment de ressources gravitaires temporairement déficitaires ;
- Effet de la diminution des réserves en eau sur le soutien des débits d'étiage ;
- Effet des prélèvements dans la nappe sur le débit de la rivière et les zones phréatiques.

L'avantage de l'outil de modélisation calé en régime transitoire sera de faire varier facilement chacun des paramètres d'entrée dans des ordres de grandeur, et de visualiser la sensibilité de ces paramètres sur la piézométrie générale et donc la variabilité de la ressource et le stock d'eau disponible (réserve) en situation de crise. Cette analyse nous permettra également de définir s'il est nécessaire de travailler sur une seule valeur seuil ou plusieurs en fonction des variations saisonnières de la recharge.

L'objectif de cette phase est de préparer le travail de phase 2 pour déterminer sur quels facteurs (naturels ou anthropiques) influent le plus sur la disponibilité des eaux souterraines (et indirectement des eaux de surface)

6.2 Présentation des simulations effectuées

Préalablement à la détermination des volumes prélevables, quatre simulations de nappe ont été réalisées au cours de cette phase 1 de l'étude. A ce stade, il s'agit de simulations dites prospectives, dans le sens où elles sont destinées à améliorer et/ou vérifier les hypothèses admises sur le fonctionnement hydrogéologique du secteur. En pratique, ces simulations permettent d'étudier l'impact piézométrique quantitatif dû à des modifications volontairement importantes sur les paramètres d'entrée (contrastes de recharge, brusques variations de pompage ...). Les cas testés sont les suivants :

- Simulation S01 : baisse de la recharge sur le long terme
- Simulation S02 : doublement des volumes de prélèvement
- Simulation S03 : incision du Séran
- Simulation S04 : année critique.

6.3 Simulation 1 – Baisse de la recharge

6.3.1 Description

Cette simulation étudie l'impact sur le niveau de la nappe d'une baisse prolongée de la recharge de l'aquifère.

Elle est construite sur la trame de l'historique de calage 2004/2010, c'est-à-dire que les paramètres de calcul du modèle en sont repris à l'identique (notamment les pompages) à l'exception d'une diminution appliquée sur :

- La pluie directe infiltrée sur la plaine,
- Les apports du karst sur les bordures,
- Le débit du Séran (ou plus exactement dans le modèle la cote du fil d'eau Séran).

Pour fixer la baisse sur ces paramètres d'entrée, nous avons ici (et dans un premier temps pour tester le modèle) choisi de tester une hypothèse réaliste, plutôt modérée : nous nous sommes ainsi basés sur l'examen des données mesurée sur la période 2004/2010 qui sont résumées dans le Tableau 22:

Tableau 22 : Recharge 2004/2010

Année	Pluviométrie - Station Sutrieu		Débit Séran à Bavoisière (m3/s)
	P (mm)	P-ETP (mm)	
2004	1267	681	1.06
2005	1035	511	0.70
2006	1379	773	0.90
2007	1630	983	1.20
2008	1611	907	1.19
2009	1292	663	0.74
2010	1455	834	1.12
<i>Moy</i>	<i>1381</i>	<i>765</i>	<i>0.99</i>

Sur cet historique de 7 ans, on remarque l'année 2005 qui est la plus déficitaire à la fois en précipitations et en débit Séran : le déficit est de l'ordre de 30% par rapport à la moyenne.

En pratique, la simulation est la répétition sur 7 ans d'une année de type 2005 : l'idée est donc d'étudier l'effet d'une **baisse prolongée de 30 % de la recharge**.

6.3.2 Impact piézométrique

Le résultat de la simulation est donné sous 2 formes :

- En Figure 38: le niveau de la nappe simulé sur 7 ans (en rouge) comparé au niveau de référence (qui est la piézométrie calculée pour le calage 2004/2010), ceci en deux endroits : le premier tout en amont du modèle sur la zone de captage de Cerveyrieu à Artemare, puis sur le piézomètre R142 nettement plus à

l'aval sur le marais de Lavours. Noter que les échelles de niveau de nappe en Y sont différentes entre les deux graphiques (amplitude annuelle nettement plus forte sur Artemare). De par la construction de la simulation, on peut noter également sur ces deux graphiques que les deux courbes se superposent au cours de l'année n°2 (entre 365 et 730 jours) : on vérifie bien ici la bonne prise en compte de 2005 comme année sèche.

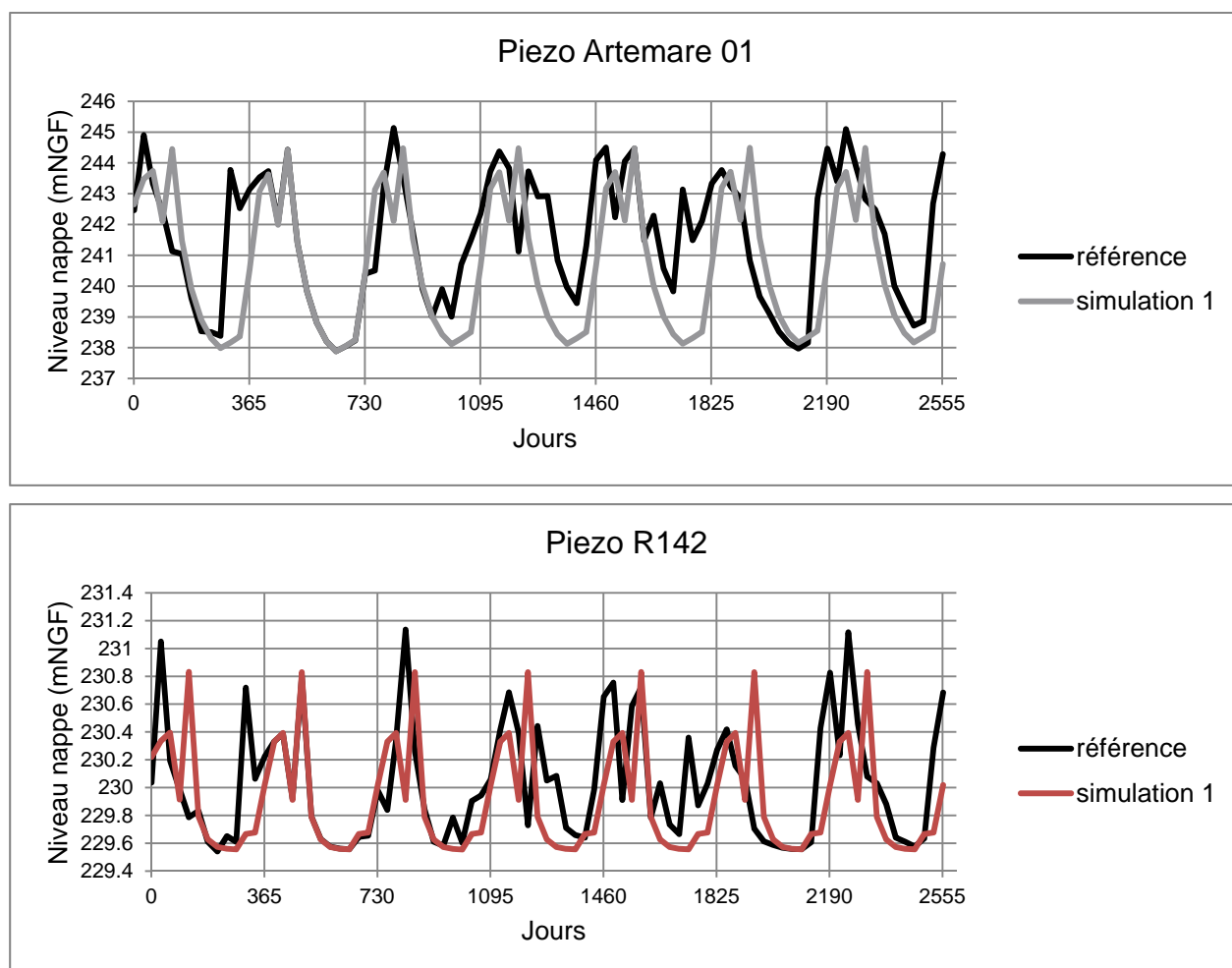


Figure 38 : Simulation1 Evolution piézométrique

Les éléments à retenir de ces graphiques sont les suivants :

- Le point essentiel à noter sur la courbe rouge de simulation est la stabilisation quasi immédiate – hors fluctuations annuelles – du niveau de base de la nappe : il n'y a pas vidange progressive de l'aquifère avec les années. Dès la première année, la nappe descend du fait d'une moindre recharge mais elle ne s'effondre pas ensuite. Ceci traduit que la baisse de 30 % des apports n'empêche la bonne recharge hivernale de cette nappe très réactive et que la ressource en eau souterraine n'est pas actuellement en état de surexploitation par les prélèvements, que ce soit sur Artemare ou plus à l'aval.
- En valeur absolue, l'impact est plus important sur Artemare (résultat logique car c'est le lieu des prélèvements les plus forts) : il pourrait y atteindre – 2 mètres en période estivale. Sur le secteur Lavours (Piézo R142), l'incidence est beaucoup moins forte avec une baisse se limitant à 10 cm environ.

- En Figure 39 avec la carte d'incidence piézométrique établie par différence des niveaux de nappe entre simulation 1 et piézométrie de référence pour la date du maximum d'écart noté sur les graphiques précédents soit à 1705 j (qui correspond à un mois de septembre). Les plages d'iso-couleurs en bleu indiquent un abaissement de la nappe.

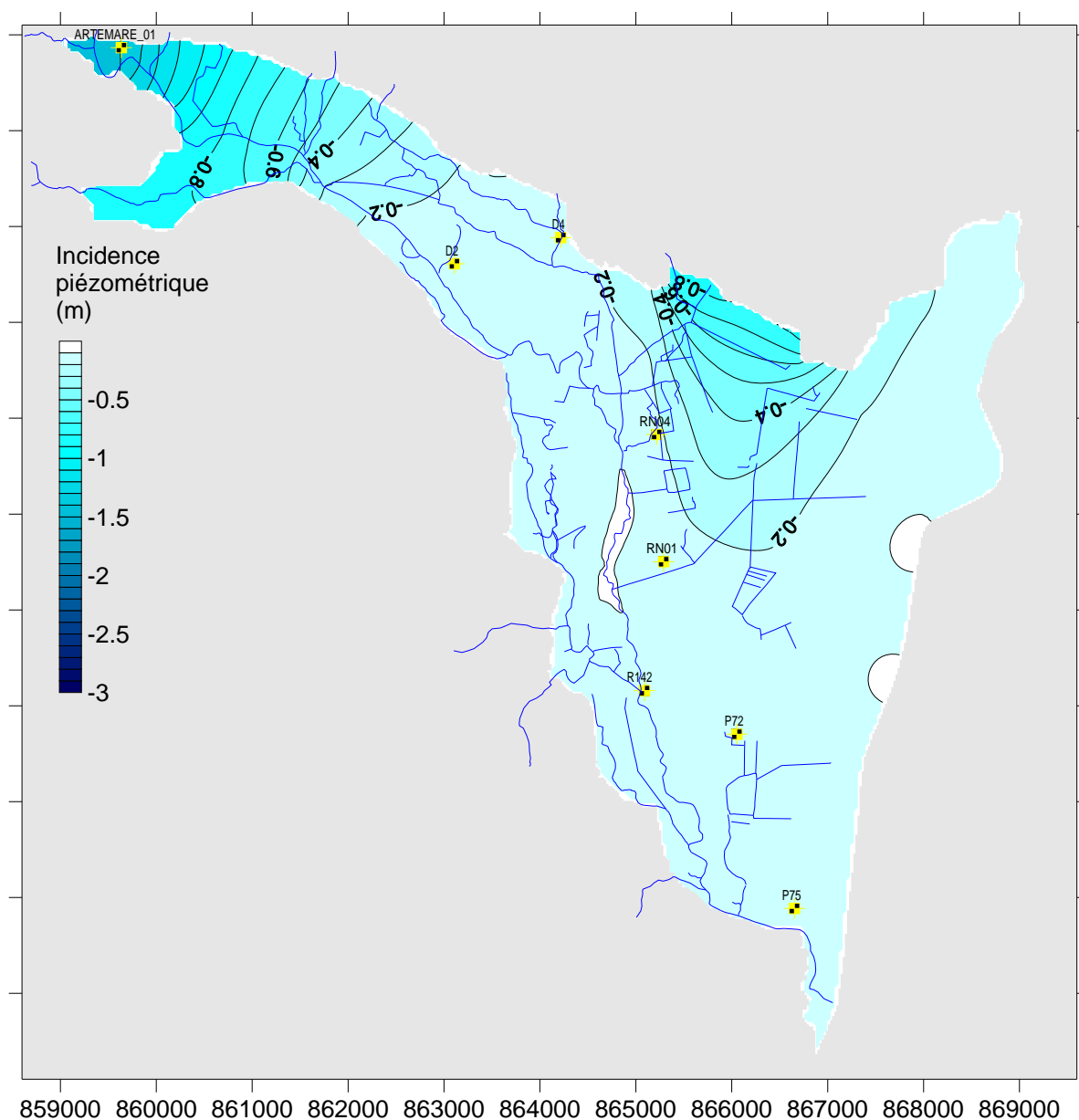


Figure 39 : Simulation1 Carte d'incidence piézométrique – couche inférieure

On retrouve sur cette carte les éléments notés sur les graphiques, à savoir un impact maximum sur le champ captant d'Artemare (- 1.50 m), et un impact très modéré sur le reste du domaine. On note sur la limite centrale nord du modèle une poche d'incidence (- 0.80 m), mais ceci est dû à une hypothèse d'apports karstiques un peu plus forts sur ce tronçon et doit davantage être considéré comme un artefact de calcul. Ailleurs, sur toute une large partie centrale de la plaine du Séran l'incidence piézométrique est inférieure à 20 cm.

6.3.3 Echanges nappe - Séran

En préparation à la méthodologie de la phase 2 de l'étude avec la question des débits minimums biologiques des cours d'eau, les résultats de cette première simulation prospective ont été détaillés avec une analyse plus précise des bilans hydrauliques au niveau des échanges nappe/rivière. L'objectif est de voir ici quels secteurs du Séran sont en position d'alimenter ou au contraire de drainer la nappe puis dans un deuxième temps de quantifier l'incidence de la diminution recharge simulation 1 sur le volume des échanges nappe/rivière.

Trois petits tronçons de bilan ont été implantés sur les mailles Séran du modèle, comme indiqué en Figure 40:

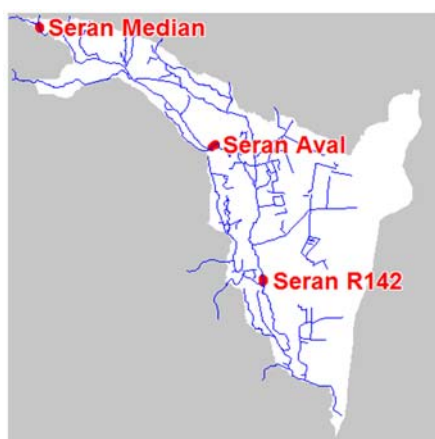


Figure 40 : Localisation des bilans Séran

Les deux premiers correspondent et reprennent la dénomination des deux stations retenues dans l'étude du débit biologique de CINCLE en septembre 2012 :

- Séran médian : lieu-dit entre MASSIGNEU et CERVEYRIEU (Champ Plavin), ce tronçon Séran borde la zone de prélèvement d'Artemare
- Séran Aval : lieu-dit En Crattier sur la commune de Cezeyrieu.

Nous avons ajouté une troisième station encore plus en aval, noté R142 (du fait de sa proximité avec le piézomètre).

Les 3 tronçons ont 6 mailles soit une longueur de 120 mètres.

La méthodologie est dans un premier temps testée avec le bilan des flux sur les 3 stations établi pour l'état piézométrique de référence donné en Figure 41:

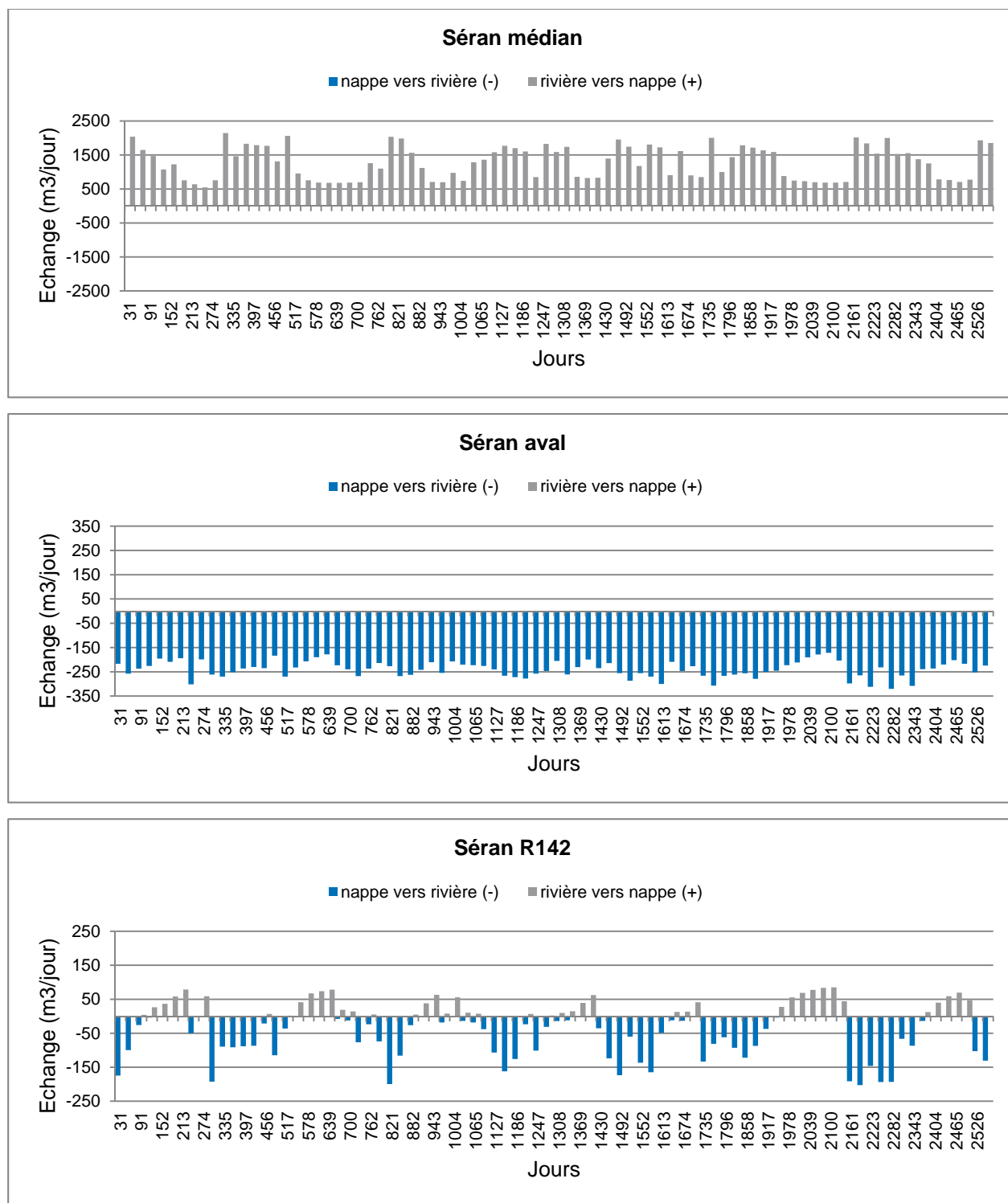


Figure 41 : Echanges nappe – rivière Etat de référence

Ces résultats sont intéressants, on note en particulier une nette différence de comportement entre les tronçons :

- Au droit des captages d'Artemare (Séran Médian), le Séran alimente fortement la nappe avec un échange rivière vers nappe, toujours dans ce sens quelle que soit la période de l'année, avec un débit calé sur les cycles hydrologiques annuels et variant de 500 m³/j à 1 600 m³/j.
- La situation est inverse au droit du tronçon Séran Aval, les échanges se font de la nappe vers la rivière : à cet endroit le Séran draine la nappe. Les volumes d'échanges sont bien moins importants qu'à Artemare.
- En aval de la plaine (Séran R142), en se rapprochant du Rhône, le comportement du Séran est mixte : selon la période de l'année il peut soit drainer soit alimenter la nappe.

Ces résultats sont tout à fait conformes à toutes les observations, en particulier les mesures de débits séries sur le Séran (HYDRATEC 1996, BURGEAP 1996, EMA 2011) avec la mise en avant du drainage de la nappe par le Séran dans sa partie aval.

Le bilan des flux est ensuite effectué pour la simulation n°1, ce qui donne la comparaison donnée en Figure 42 pour la station Séran Médian, pour la totalité de l'historique et pour plus de clarté uniquement sur l'année 1 :

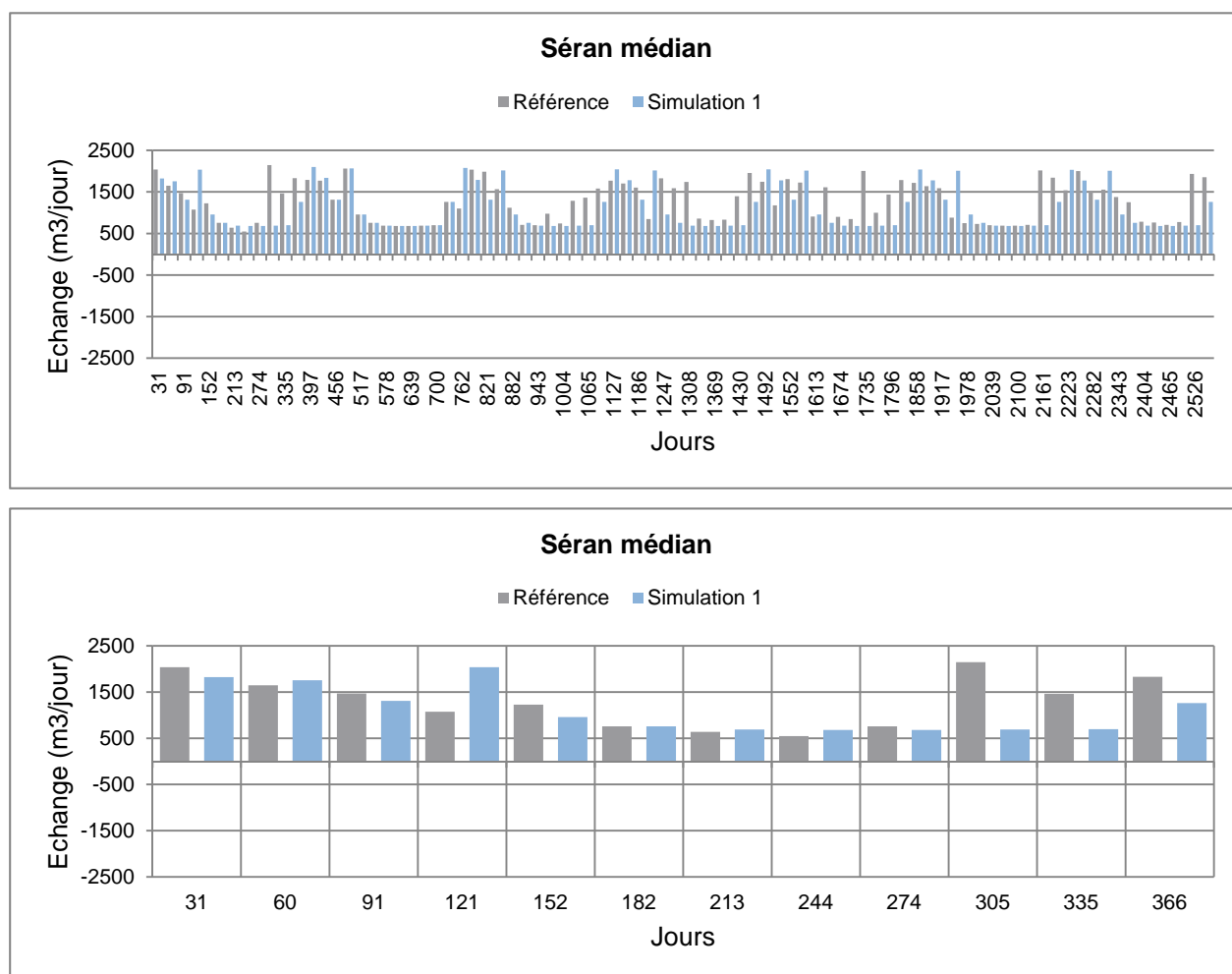


Figure 42 : Echanges nappe – rivière Simulation 1

A première vue, on note sur ces graphiques que les écarts ne semblent pas très importants entre référence et simulation 1. Plus en détail sur l'année 1, la tendance est identique sur les mois de l'année, certains mois sont excédentaires, d'autres déficitaires.

Pour une vue plus globale, la synthèse des échanges comparés entre état de référence et simulation n°1 est donnée dans le Tableau 23 avec la moyenne des débits sur les 7 ans de simulation :

Tableau 23 : Echanges moyens Simulation 1

Simulation	Station	Echanges (m³/jour)	
		nappe vers rivière (-)	rivière vers nappe (+)
Etat de référence	Séran Médian	0	1 285
	Séran Aval	-240	0
	Séran R142	-59	19
Simulation 1	Séran Médian	0	1 129
	Séran Aval	-223	0
	Séran R142	-41	25

On remarque une évolution logique des débits échangés : ils sont plus faibles pour la simulation 1 (baisse de la recharge). L'évolution est relativement modérée avec une diminution d'environ 10 % des échanges, en alimentation ou en drainage.

6.4 Simulation 2 - Doublement des prélèvements

6.4.1 Description

La simulation n°2 teste l'effet d'une augmentation générale des prélèvements, ici en imposant à titre prospectif un doublement des volumes prélevés en nappe.

En pratique, le calcul piézométrique de l'état de référence est donc repris en multipliant par deux les historiques de pompage tous usages confondus.

6.4.2 Impact piézométrique

Les résultats de la simulation sont donnés sous la même forme qu'en simulation 1 :

- Evolution piézométrique sur Artemare et piézomètre R142 comparée à l'état de référence en Figure 43. Pour l'analyse, nous maintenons la simulation n°1 sur ces graphiques.
- Carte d'incidence piézométrique ici tracée à 639 jours, en Figure 44 (les forages sont représentés par les points rouges).

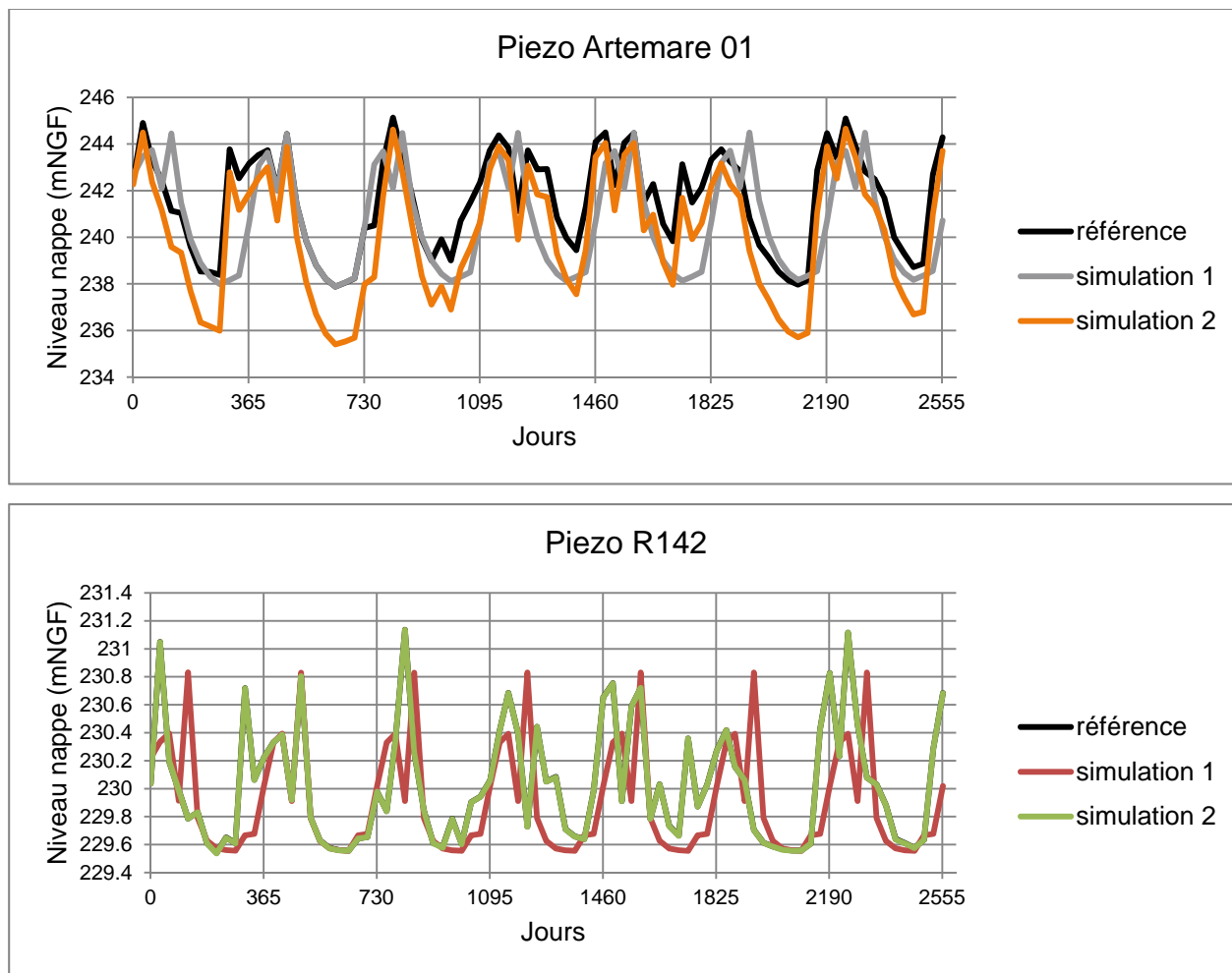


Figure 43 : Simulation 2 Evolution piézométrique

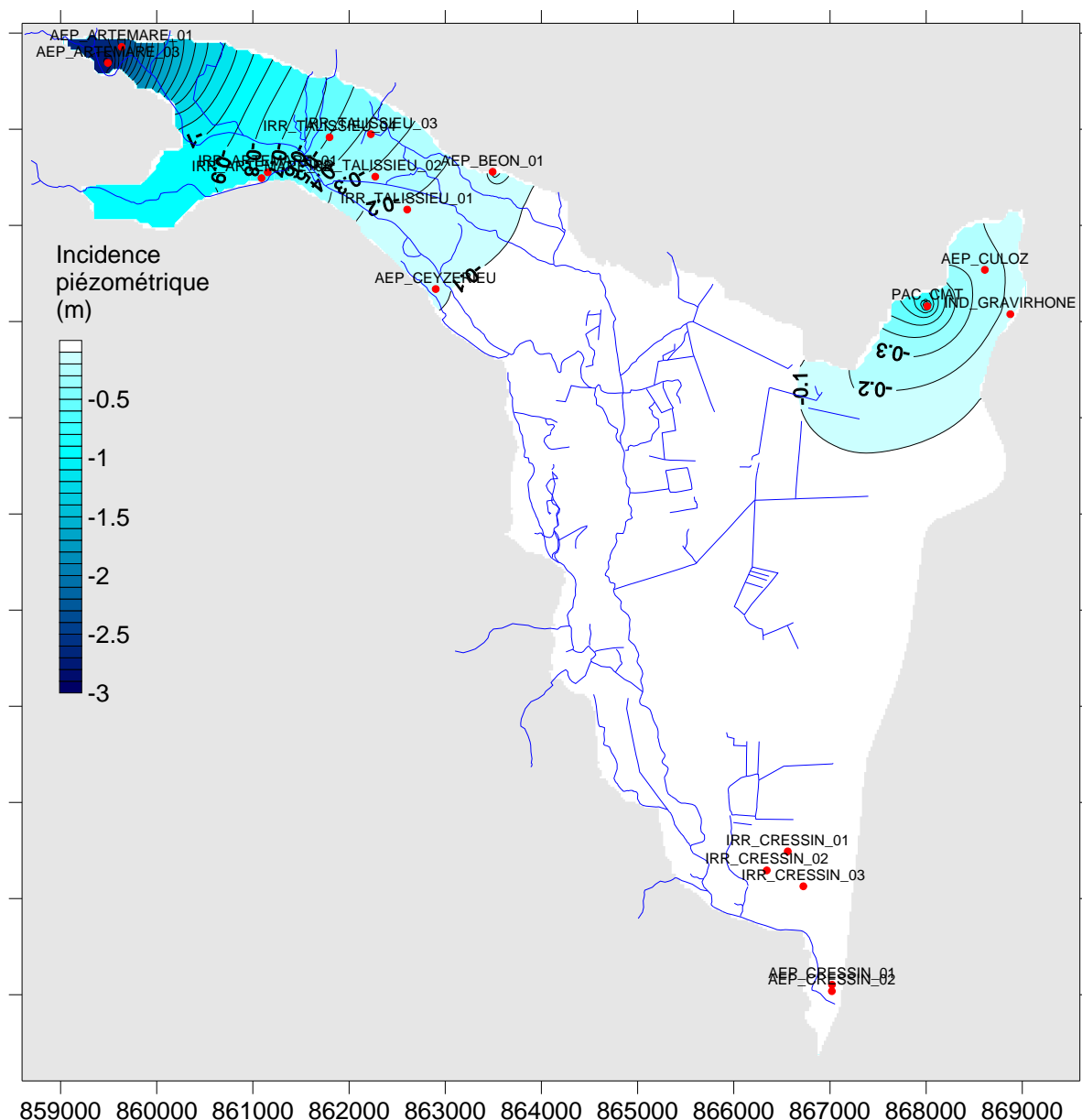


Figure 44 : Simulation 2 Carte d'incidence piézométrique – couche inférieure

Sur la carte d'incidence (Figure 44), trois zones d'impact piézométrique se distinguent, par ordre décroissant d'amplitude :

- L'impact le plus fort sur la zone de pompage d'Artemare : le doublement du volume AEP prélevé entrainerait une baisse de l'aquifère pouvant atteindre 2.50 mètre en période estivale
- A l'est du modèle, le pompage de la PAC CIAT à Culoz avec une baisse de l'ordre de 0.80 m
- Le secteur situé entre Artemare et le marais de Lavours : la baisse du niveau de nappe se situe entre 0.10 mètre (Cyzérieu) et 0.70 mètre (irrigants d'Artemare).

Il est ainsi tout aussi important de retenir qu'en dehors de ces trois secteurs, il n'y a pas d'impact notoire, toute la partie du marais de Lavours en particulier n'est pas affectée. A cela la raison principale est l'absence de prélèvements dans la partie centrale modélisée. On note en effet sur le graphique d'évolution du piézomètre R142 que les deux courbes référence et simulation 2 sont superposées (pas d'impact).

A noter finalement que l'impact est nul pour les irrigants proches du Rhône (commune de Cressin).

6.5 Simulation 3 – Incision du Séran

6.5.1 Description

Nous avons envisagé pour la simulation n°3 de calculer l'effet d'une incision du Séran dans sa plaine alluviale.

Pour cela, le modèle de référence est celui qui a fourni la piézométrie de calage en régime permanent auquel nous avons appliqué une baisse de 1 mètre à la fois sur le lit du Séran (baisse de la cote du radier) et sur sa cote fil d'eau.

De par cette hypothèse calcul, la simulation n'est pas réaliste, car il est en effet peu probable qu'une incision homogène tout au long du cours d'eau puisse un jour s'observer, mais là encore rappelons qu'il s'agit de simulation effectuée à titre prospectif destinée à étudier les effets d'une modification majeure de l'hydrosystème.

6.5.2 Impact piézométrique

Les résultats de la simulation sont donnés avec :

- les cartes d'incidence pour les nappes supérieure (Figure 45) et inférieure (Figure 46) du modèle,
- le bilan des flux en régime permanent en le Tableau 24.

Les incidences piézométriques sont assez semblables entre les deux nappes supérieure ou inférieure, une différence entre les deux ne se manifestant qu'au niveau des parties drainées du marais.

On retiendra que l'impact est généralisé à toute la vallée du Séran : si l'on considère la productivité des forages, l'incision du Séran impacterait donc le niveau moyen de la nappe sur tous les captages AEP (excepté Culoz) ainsi que sur les irrigants.

La baisse de la nappe est logiquement de 1 mètre au droit des portions drainantes du Séran. L'impact est sensible jusqu'à une distance de 2 km à l'est du Séran.

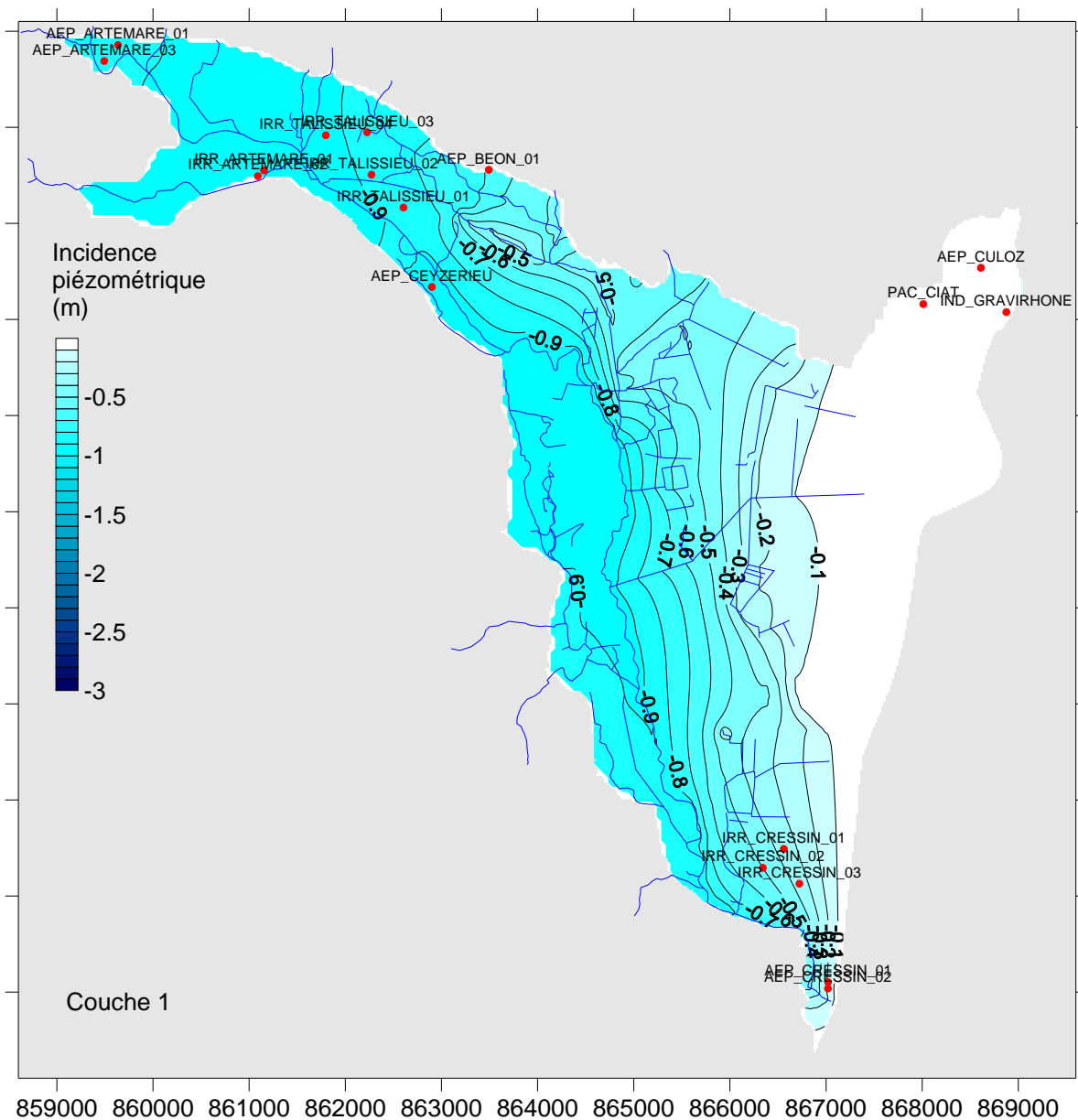


Figure 45 : Simulation 3 Carte d'incidence piézométrique nappe supérieure

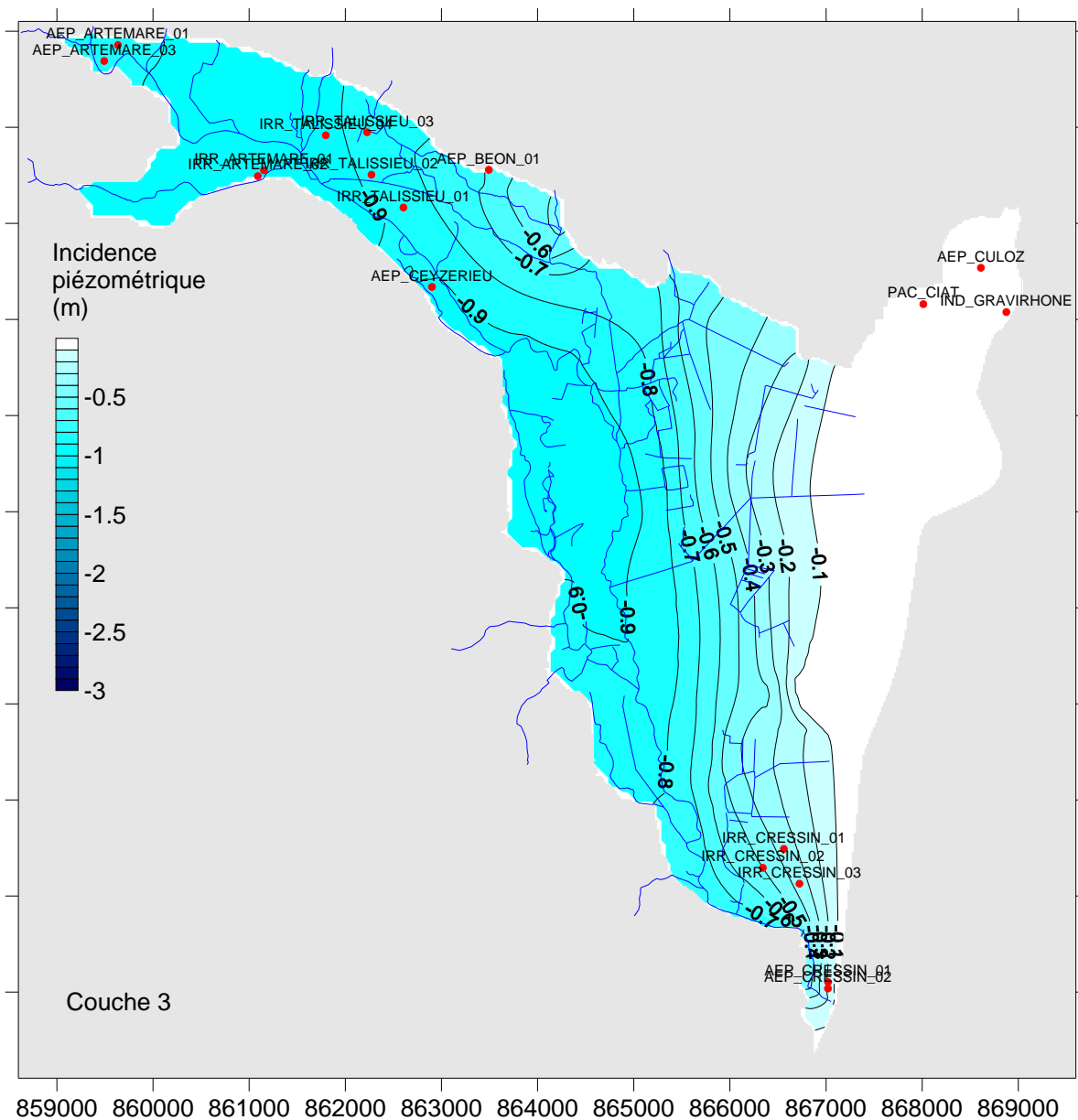


Figure 46 : Simulation 3 Carte d'incidence piézométrique nappe inférieure

Le bilan proposé dans le Tableau 24 est à comparer à celui établi lors du calage en régime permanent.

Tableau 24 : Simulation 3 Bilan des flux

Termes du bilan		Entrées (m3/j)	%	Sorties (m3/j)	%
Echanges avec rivières	Rhône	42 923	50%	-14 468	17%
	Séran	23 660	28%	-44 815	53%
Drains	Lavours	0	0%	-15 561	18%
Apports du karst	Sud	1 282	2%	0	0%
	Nord	6 206	7%	0	0%
Pompages		0	0%	-9 990	12%
Flux plaine du Rhône		103	0%	-301	0%
Pluie		10 948	13%	0	0%
Total :		85 122	100%	-85 135	100%

L'évolution du bilan est logique :

- abaissé de 1 mètre, le Séran augmente son caractère drainant sur la nappe : le débit drainé par la rivière passe de 30 000 à 45 000 m3/jour par rapport à la situation initiale ;
- en concomitance, la nappe supérieure étant plus basse, le volume d'eau évacué par les drains du marais diminue.

6.6 Simulation 4 – Année critique

6.6.1 Description

La simulation n°4 propose l'étude plus précise sur une année d'une configuration hydrogéologique très contraignante conjuguant baisse de la recharge, augmentation des prélèvements et étiage sévère du Séran.

Le calcul est mené en régime transitoire sur les 7 années du calage, le paramétrage déficitaire est appliqué uniquement à l'année n°2, au-delà ce sont les données d'entrée du calage qui sont à nouveau appliquées.

La simulation est construite sur des hypothèses plus détaillées que dans les cas précédents, le paramétrage étant fixé comme suit :

- La recharge hivernale précédant la deuxième année est diminuée de 50 % : on applique ainsi un coefficient de 0,5 à toutes les données d'entrée qui concernent la pluie utile et les apports de bordure à partir du mois d'octobre de la première année.
- Pour les pompages, nous avons distingué une augmentation des prélèvements en fonction de l'usage de l'eau. Plus précisément, nous nous sommes référés aux données de pompage maximum 2002/2010 établis par EMA Conseil dans son rapport de phase 1 en page 28 :
 - AEP : le volume mensuel est porté à 310 000 m3 qui est la somme des prélèvements par pompage maximums mentionnés (240 000 m3/mois) auxquels on ajoute les 70 000 captés habituellement sur les

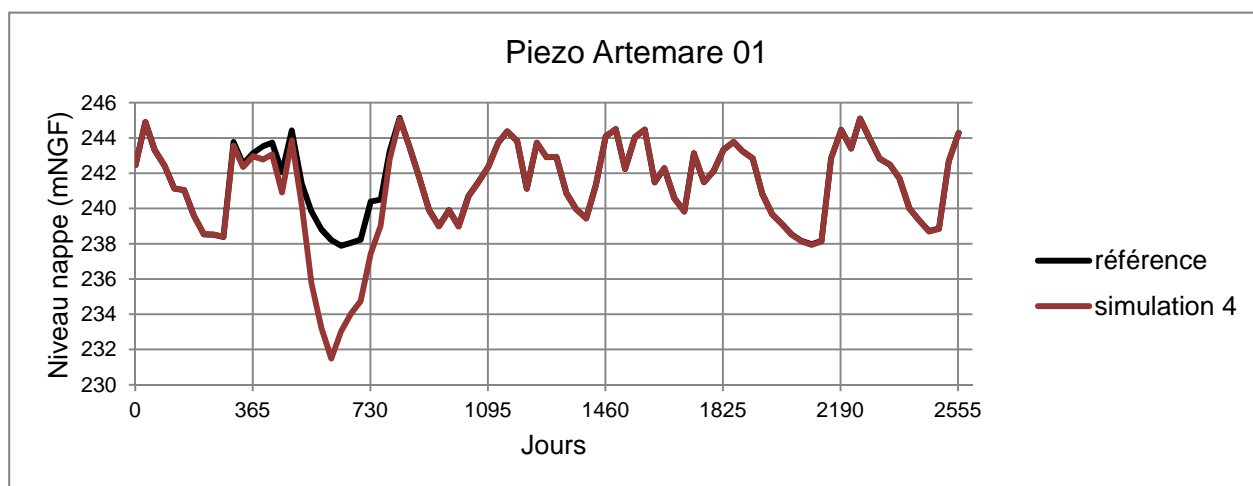
sources situées plus en amont : on suppose donc ici l'abandon temporaire des sources (leur tarissement par exemple) et un report des prélèvements sur les captages AEP. Le volume AEP moyen mensuel de base étant de 154 000 m³, cela revient à multiplier ces prélèvements par 2,02 pour la simulation.

- Industrie : toujours selon l'estimation EMA Conseil, les prélèvements industriels sont multipliés par 1,2 : de 129 000 à 156 000 m³/mois.
- Irrigation : les prélèvements à usage agricole sont multipliés par 2,1 et sont effectués toujours uniquement sur les 3 mois juin-juillet-août (on passe d'une moyenne de 118 000 à 249 000 m³ mensuels).
- Au cours de ces mêmes mois juin-juillet-août, le Séran est en partie placé en condition d'à sec, c'est-à-dire qu'il ne peut alors intervenir dans le modèle qu'en condition de drainage vis-à-vis de la nappe. Le tronçon d'assec saisi dans le modèle est basé sur la carte n°23 de l'étude EMA Conseil reproduite en annexe du présent rapport : il va de l'entrée du Séran dans le modèle jusqu'au droit de Ceyzerieu (voir localisation de l'assec sur la carte de résultat). Ce paramétrage est très contraignant : il implique 3 mois sans transfert d'eau du Séran vers la nappe et il est de plus appliqué à pratiquement la moitié du tracé du Séran.

Il s'agit donc globalement d'une simulation très pessimiste puisqu'en particulier lors de la période estivale – soit au moment du pic de pompages – la nappe ne reçoit aucune alimentation, les prélèvements venant alors solliciter uniquement le stock d'eau souterraine.

6.6.2 Impact piézométrique

L'évolution du niveau de la nappe est donnée pour les deux piézomètres habituels Artemare et R142 en Figure 47 :



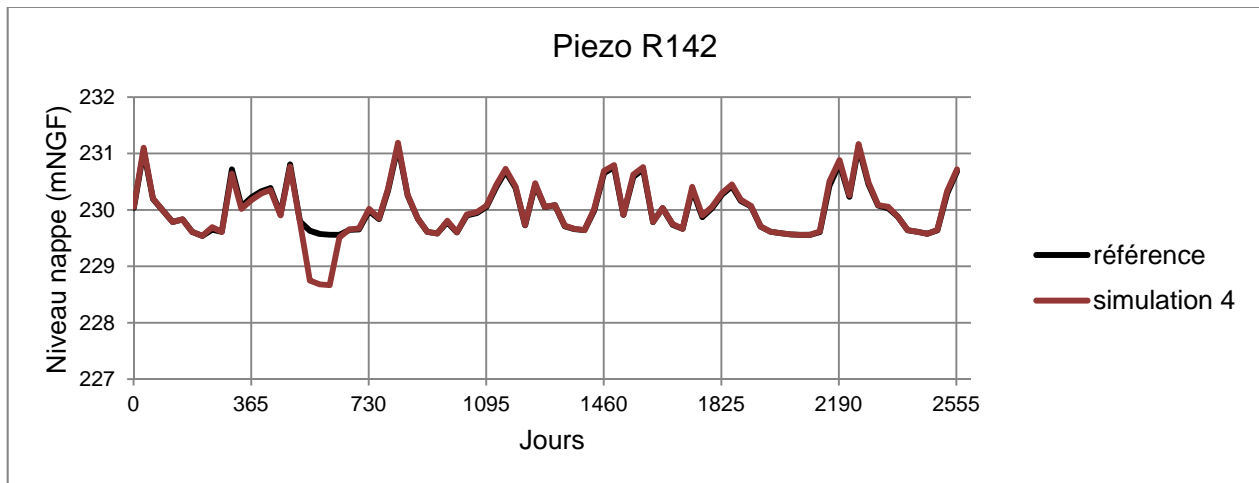


Figure 47 : Simulation 4 Evolution piézométrique

On notera sur les deux graphiques la chute brutale et importante du niveau de nappe au cours de l'année critique, les minimums étant obtenus à fin septembre :

- Sur le secteur Artemare, par rapport au calcul de référence à 238 mNGF, la nappe passe en dessous de la cote 232 mNGF : l'amplitude de la baisse piézométrique est le double de celle d'une année normale.
- Plus à l'aval en R142, l'impact est moins fort mais il est quand même marqué avec moins 1 mètre sur le niveau de nappe par rapport à une année normale.

Après cet épisode, on remarquera cependant la bonne réactivité de la nappe réactive qui retrouve rapidement (dès le 1^{er} de janvier suivant pour Artemare) son niveau courant dès le retour à des conditions d'alimentation classiques.

La Figure 48 donne la carte d'incidence piézométrique pour le maximum relevé sur les graphiques précédents, soit la situation à 609 jours (fin septembre) :

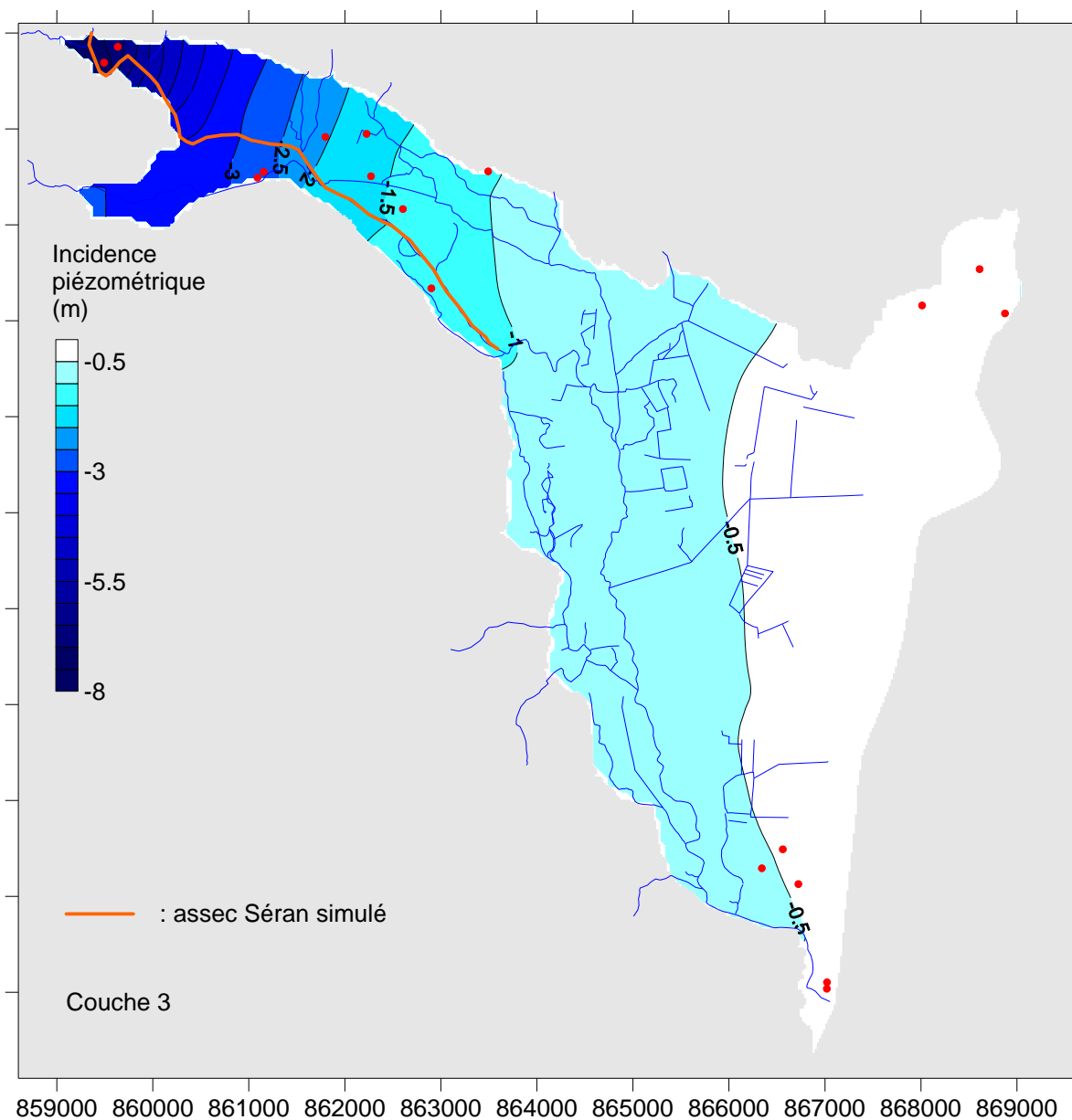


Figure 48 : Simulation 4 Carte d'incidence piézométrique nappe inférieure

On retrouve sur cette carte les tendances notées sur les graphiques :

- un impact maximum et très fort sur le secteur Artemare avec une baisse de près de 8 m,
- un impact qui va en diminuant vers l'aval du Séran, avec une baisse des niveaux de nappe comprise entre 0,5 et 2 mètres.

A noter ici que le niveau du Rhône n'a pas été modifié dans cette simulation, ceci revenant à soutenir sans doute artificiellement à le niveau bas de l'exutoire de la nappe (ce qui se manifeste par un impact nul le long du Rhône).

7. Reconstitution de la piézométrie non influencée

Au terme de la phase 1 de l'étude de détermination des volumes prélevables, le modèle hydrogéologique permet de définir une piézométrie de la plaine alluviale du Séran non influencée par les pompages.

Pour cela, un calcul a été effectué avec modèle calé en régime permanent décrit au § 5 en y supprimant tous les prélèvements en nappe. Le résultat est présenté en Figure 49 avec la comparaison entre la piézométrie de calage 2004/2010 et celle simulée lors de ce calcul (état sans influence des pompages).

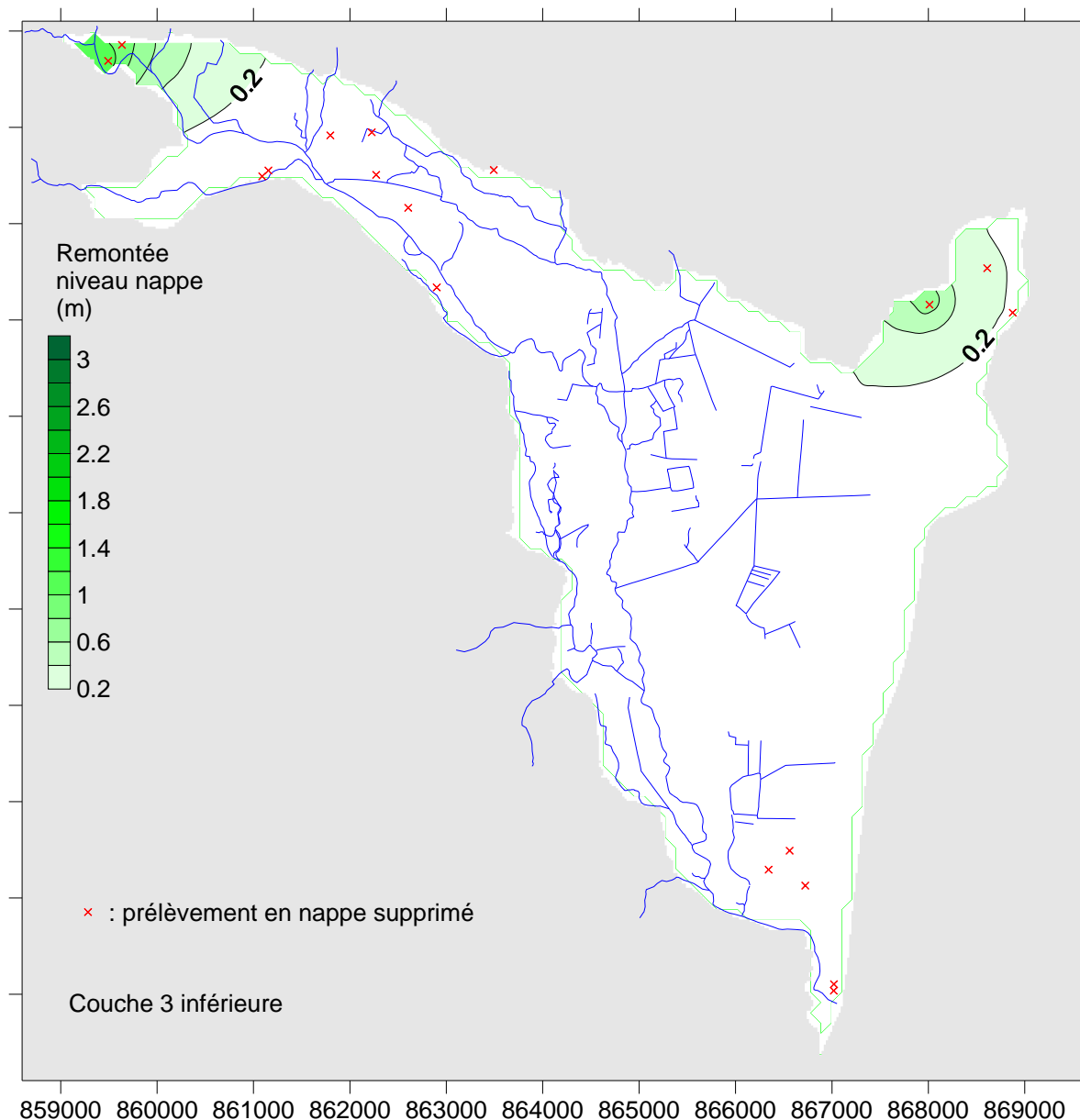


Figure 49 : Incidence piézométrique entre situation de calage et situation non influencée par les pompages

Cette carte montre que l'aquifère alluvial du Séran est dans son ensemble peu influencé par les pompages. Seuls les deux lieux de pompage les plus importants (Artemare au nord-ouest et Culoz au nord-est) montrent un impact significatif avec respectivement 1,20 et 0,70 mètre.

Dans les autres cas, les prélèvements moyens sont faibles par rapport à la ressource disponible et leur impact est inférieur à 20 cm en régime permanent.

La Figure 50 et la Figure 51 donnent les cartes piézométriques non influencées, par ailleurs peu différentes des piézométries de calage.

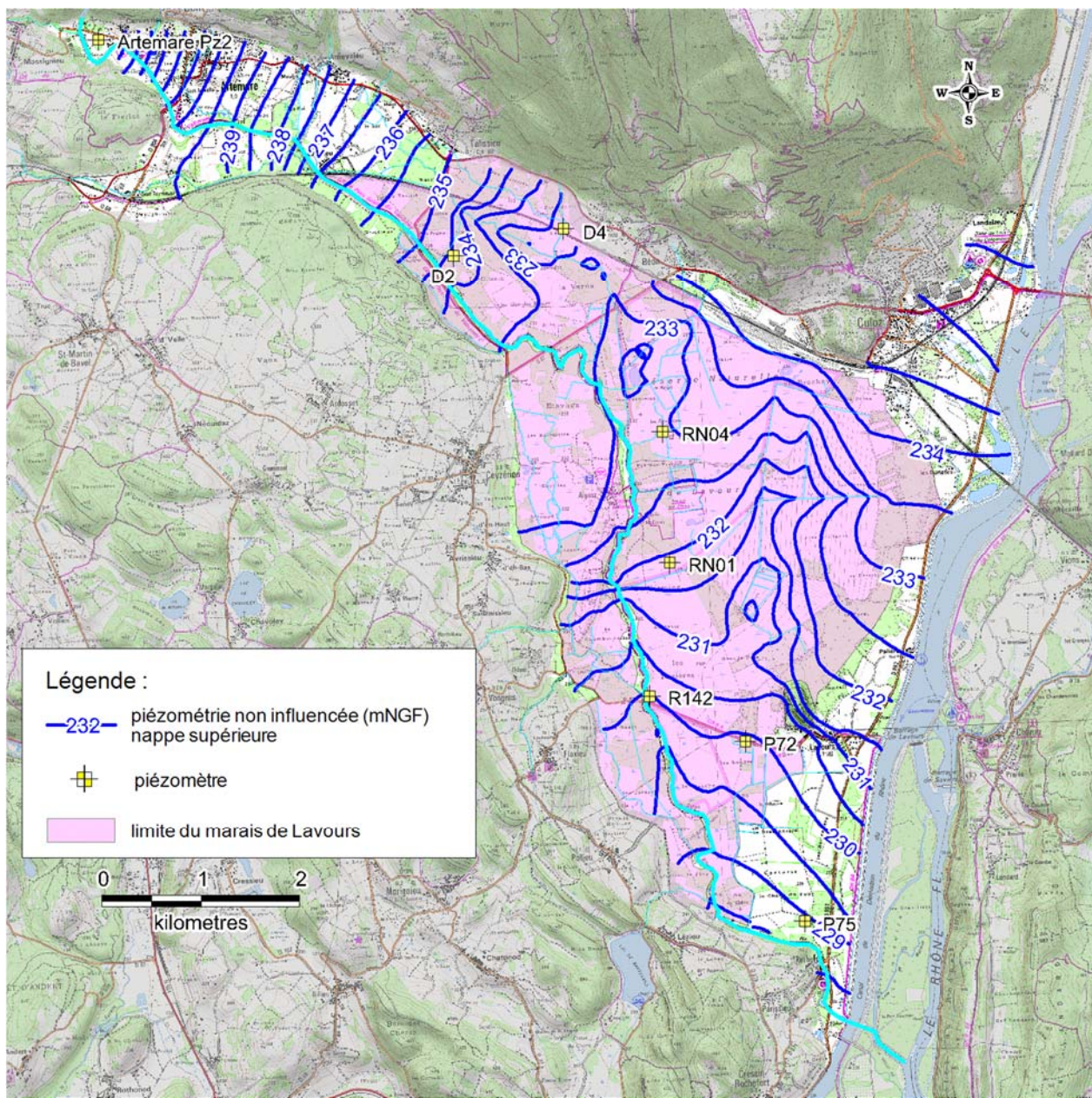


Figure 50 : Piézométrie non influencée par les pompages nappe supérieure

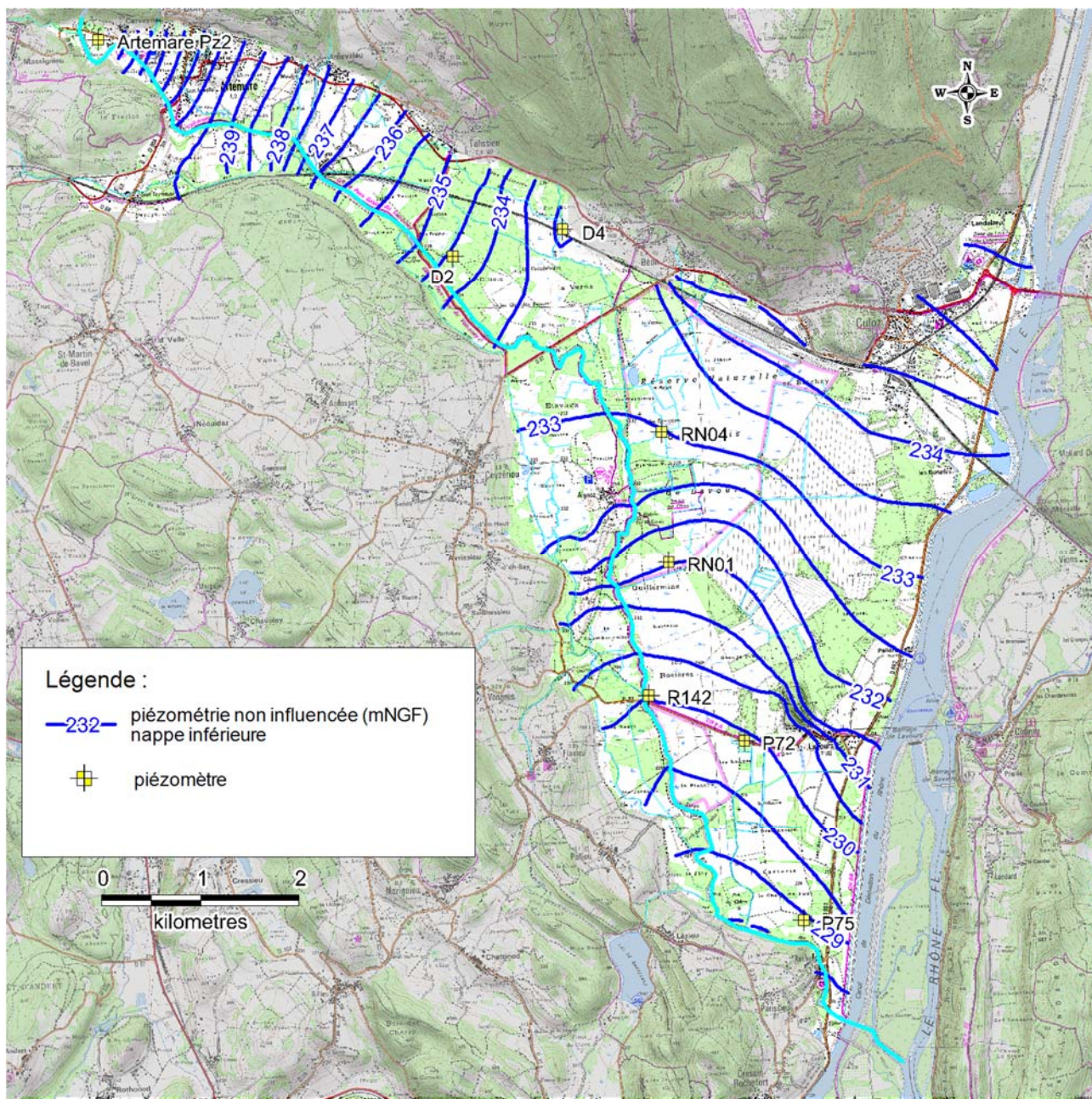


Figure 51 : Piézométrie non influencée par les pompages nappe inférieure

8. Conclusions de la Phase I

Le modèle de nappe de la plaine alluviale Sérans/Lavours a pu être reconstruit sur les bases du modèle 2002, en rajoutant l'extension amont dans la zone d'Artemare. Le calage de la zone d'Artemare, et globalement la bordure nord au contact avec le synclinal du Valromey et le Grand Colombier, pose le plus de difficultés, car les données nécessaires à l'exercice sont insuffisantes :

- Il n'existe pas de suivi piézométrique en continu sur la boucle d'Artemare sur la période de calage 2004-2010 retenue, ni de suivi limnimétriques. Ce point a déjà été remonté au Syndicat qui a installé un réseau de suivi qui servira pour un calage ultérieur en régime transitoire ;
- Les différents documents montrent que la zone d'Artemare est complexe et il manque un certain nombre des données ou observations concordantes sur une même période, pour affiner la compréhension de la zone, et plus particulièrement les échanges nappe/rivière.
- Les apports du karst sur la bordure nord restent appréciés de manière qualitative. Malgré l'étude récente ayant permis d'affiner le fonctionnement global du synclinal du Valromey (traçages), il manque des données quantitatives en terme de bilan de flux des apports souterrains qui seraient masqués sous les alluvions.

Le manque de données a pu être comblé par une série de tests de sensibilité, qui permettent d'obtenir un modèle fiable, car il reconstitue les bons ordres de grandeurs des phénomènes qui y compris dans la zone d'Artemare et malgré les divergences d'analyses sur le fonctionnement hydrogéologique local :

- la part des apports entre le Seran et le karst est variable : la zone d'Artemare est très complexe, et on ne peut pas exclure une alimentation mixte, ou avec une variabilité saisonnière plus marquée.
- la part des apports globaux à Artemare (Seran et karst) pourrait être revue un peu à la hausse en valeur absolue dans ce secteur, sans changer fondamentalement le bilan des flux de l'ensemble du modèle.
- L'hypothèse d'une alimentation massive par les karsts du Jurassique est exclue, les tests de sensibilité montrent des valeurs aberrantes avec cette hypothèse. L'hypothèse de EHC (multiplier par dix les capacités de pompage des puits d'Artemare) doit être écartée. Selon les tests de sensibilité, la ressource exploitable doit être considérée au maximum à 2 Mm³/an.

Les tests de sensibilité quant aux apports globaux du karst en bordure nord du modèle montrent qu'il serait possible d'envisager des apports karstiques plus forts que ceux retenus, sans pour autant perturber fondamentalement la piézométrie calculée. En tout état de cause, il apparaît donc que le modèle ne permet pas de quantifier avec certitude le volume des apports karstiques de bordure. Il est probable que le calage du modèle se situe dans une hypothèse basse quant aux apports du karst, ce qui va dans le sens d'une approche plutôt sécuritaire dans le cadre d'une étude de détermination de volumes prélevables.

La partie située dans le secteur de Lavours avait déjà fait l'objet d'un travail détaillé de calage lors de l'étude de 2002 pour le compte de l'EID, avec la prise en compte des échanges possibles entre la nappe profonde et la nappe de la tourbe. Les suivis piézométriques sont très sensibles ici aux phénomènes locaux (perméabilité de l'interface argileuse à la base de la tourbe, effet de drainage du réseau de drains, etc...). Les tests de sensibilité montrent que la position des drains retenue dans le modèle et la capacité de drainage fixée par calage un bon compromis et qu'elle est au final cohérente avec la piézométrie mesurée.

Au niveau du bilan, on remarque que l'excédent d'eau souterraine, quel que soit le test de sensibilité réalisé, est toujours évacué par le Seran : la cote fil d'eau de la rivière tend à régler le niveau général de la nappe et à restreindre les impacts, en particulier en limitant une remontée de la piézométrie.

Les simulations prospectives confirment les observations de terrains et les différentes études menées sur le secteur :

- Une baisse sensible et prolongée de la recharge n'impactent pas le niveau de base de la nappe, il n'y pas de vidange progressive de l'aquifère. Elle traduit la forte réactivité du système aux précipitations, même si la recharge baisse en valeur absolue. L'impact est le plus fort sur Artemare, toujours en valeur absolue, du fait de sa position amont du système (recharge), tandis que le secteur de Lavours est très peu impacté. Le pied du Grand Colombier est également impacté (apport local du karst, en accord avec les tests de sensibilité).
- Du même, le doublement des prélèvements montrent la sensibilité des ces derniers :
 - Les prélèvements sont bien circonscrits, et ont donc en effet piézométrique limité dans l'espace : majoritairement les puits d'Artemare (et les autres prélèvements proches), et le puits de la CIAT à Culoz (e autres prélèvements proches).
 - Des secteurs non impactés au centre du marais de Lavours, qui s'expliquent par de l'éloignement des bordures, mais surtout l'absence de prélèvements majeurs (irrigation très ponctuelle).
- Une année critique qui combinerait une baisse de la recharge et une augmentation des prélèvements montre un impact piézométrique localement très fort (8 m de baisse à Artemare - on simule les assèchs du Séran en partie amont, 1 m sur la partie aval), mais la situation se résorbe dès les périodes de recharge hivernales suivantes (année normale), confirmant ainsi les observations faites par le passé (par exemple, l'étiage de l'été 2003, puis la recharge très rapide suite aux premières pluies). Des forts prélèvements limités dans le temps auront donc un impact temporaire, du fait de la très forte réactivité du système aux précipitations.
- L'incision du Séran confirme le constat fait dans les différentes études : impact généralisé confirmant le rôle de drain du Séran et l'augmentation du débit très marqué en aval qui contrôle le bilan des flux. Plus le Séran est incisé, plus il drainera la nappe. L'impact d'une incision d'1 m du Séran dans sa partie inférieure, est sensible sur la piézométrie de la nappe jusqu' à 2 km du Séran.

En année moyenne, callée sur la période 2004-2010, l'effet des pompages en nappe sur la piézométrie est finalement très localisé. La remontée piézométrique se fait dans les deux secteurs identifiés de plus forts prélèvements, soit Artemare (remontée de 1,20 m) et Culoz (0,70 m). En bilan de flux, l'ensemble des prélèvements sur la période ne représentent que 13 % du bilan de flux en sortie (soit 10 000 m³/j), alors que le drainage des rivières représentent la part restante (Séran 38 %, soit 30 000 m³/j ; drains du marais 28 %, soit 22 000 m³/j, Rhône 21 %, soit 17 000 m³/j).

ANNEXES

Annexe 1.

Contour du domaine modélisé

Cette annexe contient 1 page.

Annexe 2.

Localisation des piézomètres et des sources de prélèvements

Cette annexe contient 1 page.

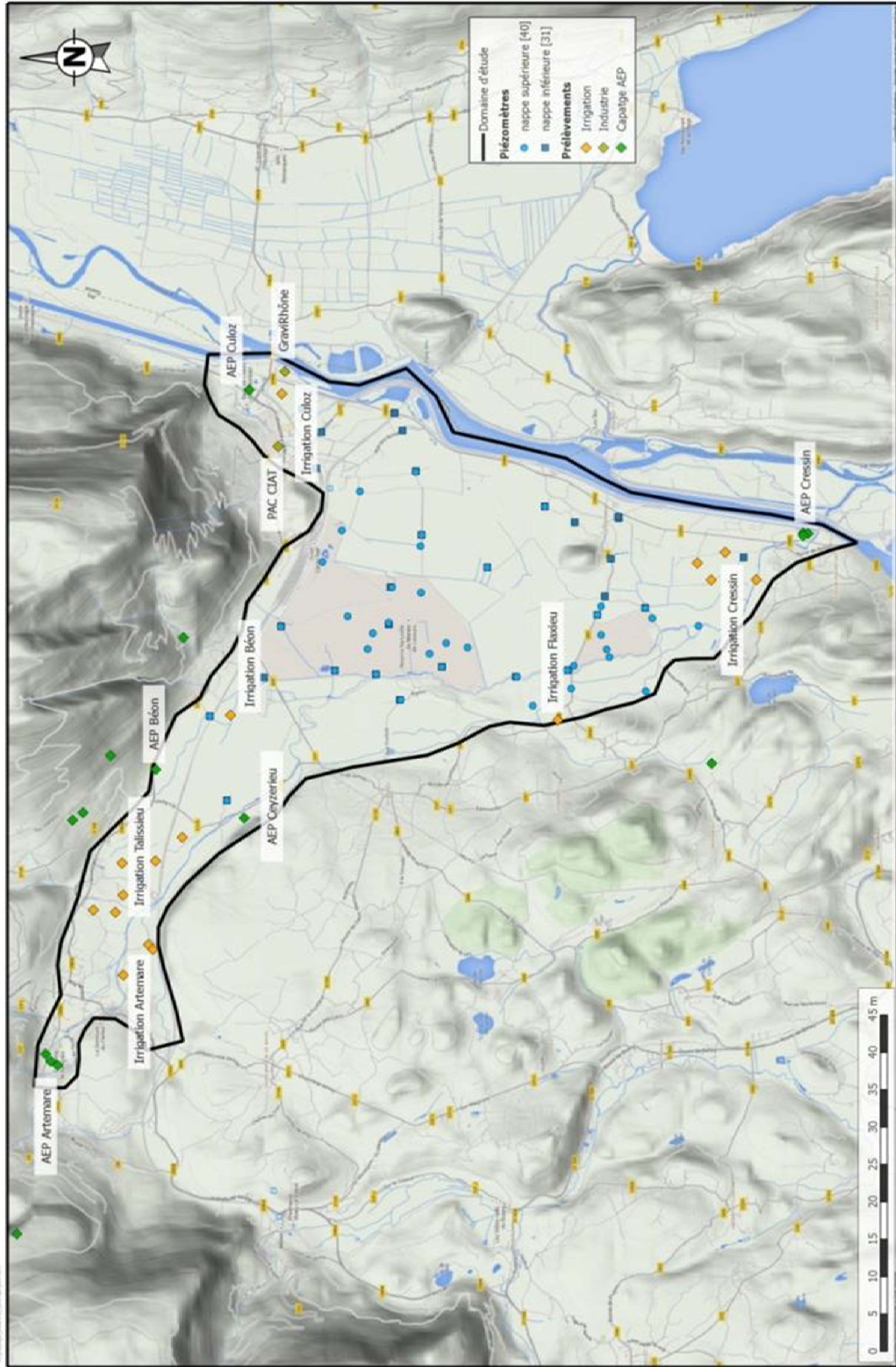


FIG. 00

R000YV2222
C0000Y7777

Syndicat mixte du Sèran (bassin versant du Sèran)

Localisation des points de prélèvement et des piézomètres sur le domaine modélisé

Annexe 3.

Catalogue des données existantes

Cette annexe contient 43 pages.

Réf : CEAUCE141312 / REAUCE01332	
MFN - NTR / SGE / CM	
17/06/2015	Annexes

Liste des données existantes

Etude	Type de données	Période	Localisation
2013 - Syndicat Mixte SERAN - DOSSIER DEFINITIF DU CONTRAT DE RIVIERE DU BASSIN VERSANT DU SERAN (2014-2018)	Pluviométrie	1963 - 2007	Belley, Hauteville
	Profil en long	2011	Séran
	Débit moyen mensuel	1961 - 2009	Groin, Séran
	Débit d'étiage	-	
	QMJ et période de retour	-	Groin, Séran
	Assec	-	BV du Séran
2005 - EnvHydro Consult - Etude de vulnérabilité de la zone de captage de Cerveyrieu (01)	Prospection électromagnétique	2003	Artemare
	Sondage électrique	2003	Artemare
	Bilan hydroclimatique	2002 - 2004	Sutrieu, Virieu-le-petit
	QMA et débit spécifique	1960 - 1979	Groin, Séran
	Piézométrie	2003 - 2004	Captages d'Artemare
	Rabattement	2003	Captages d'Artemare
	Transmissivité et conductivité	2003	Captages d'Artemare

Réf : CEAUCE141312 /
REAUCE01332

MFN - NTR / SGE / CM

17/06/2015

Annexes

bgp200/6t

Etude	Type de données	Période	Localisation
	Traçage	2003	Captages d'Artemare
	Cotes des ouvrages	2003	BV du Séran
	Piézométrie	2004	BV du Séran
1996 - BURGEAP - Etude de la nappe de Cerveyrieu - Potentiel et vulnérabilité	Rabattement	1996	Captages d'Artemare
	Corrélation nappe, pluvio, rivière	1996	Séran, Artemare
2013 - CPGF - Horizon - Recherche des sources potentielles de pollution des eaux du puits de Ceyzerieu	Bilan hydro-climatique	2002 - 2011	Belley
	Prospection électromagnétique	2011	Ceyzerieu
	Rabattement	2011	Ceyzerieu
	Paramètres hydrodynamiques	2011	Ceyzerieu
	Traçage radial convergent	2011	Ceyzerieu
	Piézométrie	2006 - 2013	Marais de Lavours
	Corrélation nappe, pluvio, rivière	2012	Séran

Réf : CEAUCE141312 /
REAUCE01332

MFN - NTR / SGE / CM

17/06/2015

Annexes

bgp200/6t

2012 - CPGF - Horizon - Etude hydrogéologique préalable à l'avis de l'hydrogéologue agréé dans le cadre de l'instauration des périmètres de protection	QMNA 5	-	Béon Talissieu
	Rabattement	2011	Béon Talissieu
	Traçage radial convergent	2011	Béon Talissieu
	Prospection électromagnétique	2011	Béon Talissieu
2013 - Valromey Communauté de communes - ETUDE HYDRAULIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU DU BASSIN VERSANT DU SERAN	Station limnimétriques	1961 - 2009	Séran, Groin
	Débit moyen annuel	1961 - 2009	Séran, Groin
	Débit minimal		Séran, Groin
	Linéaires à sec	-	Séran, Groin
	Régime des hautes eaux	-	Séran, Groin
	Profils en long		Séran

Réf : CEAUCE141312 /
REAUCE01332

MFN - NTR / SGE / CM

17/06/2015

Annexes

bgp200/6t

2013 - Syndicat Mixte SERAN - DOSSIER DEFINITIF DU CONTRAT DE RIVIERE DU BASSIN VERSANT DU SERAN (2014-2018)

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy. annuelle
Belley (1963-2007)	101.5	97.9	95.9	88.3	99.2	90.3	75.6	88.1	112.2	116.5	118.8	108.1	1 192.4
Hauteville (1963-2007)	138.8	131.7	130.4	116.6	129.6	112.6	101.7	120.5	134.7	143.8	159.1	148.9	1 568.3

Tableau 4 : Pluviométrie moyenne mensuelle (mm)

Tableau 10 : Valeurs des pluies maximales (mm) calculées au poste d'Hauteville-Lompnes pour différentes périodes de retour (période 1998 – 2007)

		Hauteur estimée		
		1	4	8
Durée de retour	Nb. de jours			
	5 ans	83 mm	126 mm	169 mm
	10 ans	92 mm	136 mm	185 mm
	20 ans	100 mm	146 mm	200 mm
	30 ans	105 mm	151 mm	209 mm
	50 ans	112 mm	158 mm	221 mm
	100 ans	120 mm	167 mm	236 mm

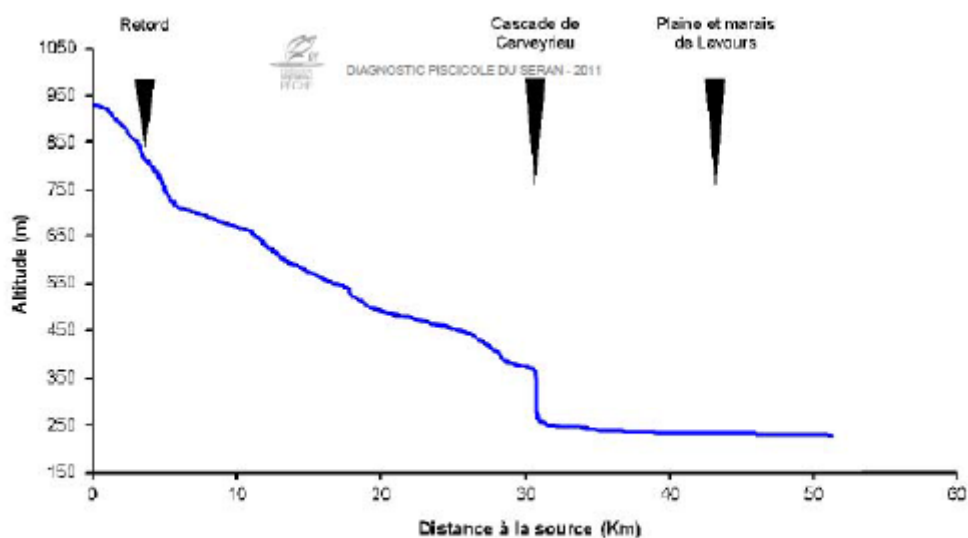


Figure 5 : Profil en long du Sérán

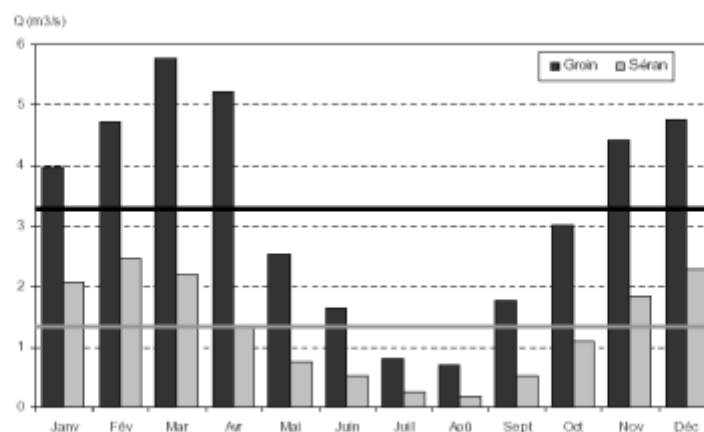


Figure 9 : Débits moyens mensuels (histogrammes) et Module interannuel (lignes continues) du Groin et du Sérán (1961-2009)

	GMN 1		VCN 30		VCN 10	
	Année médiane	Année quinquennale sèche	Année médiane	Année quinquennale sèche	Année médiane	Année quinquennale sèche
Séran à la Bavosière	15 l/s	2 l/s	2 l/s	1 l/s	0 l/s	0 l/s
Groin à Cerveyrieu	137 l/s	36 l/s	51 l/s	21 l/s	30 l/s	12 l/s

GMN 1 : Débit minimum mensuel - VCN 30 : débit minimal sur 30 jours consécutifs

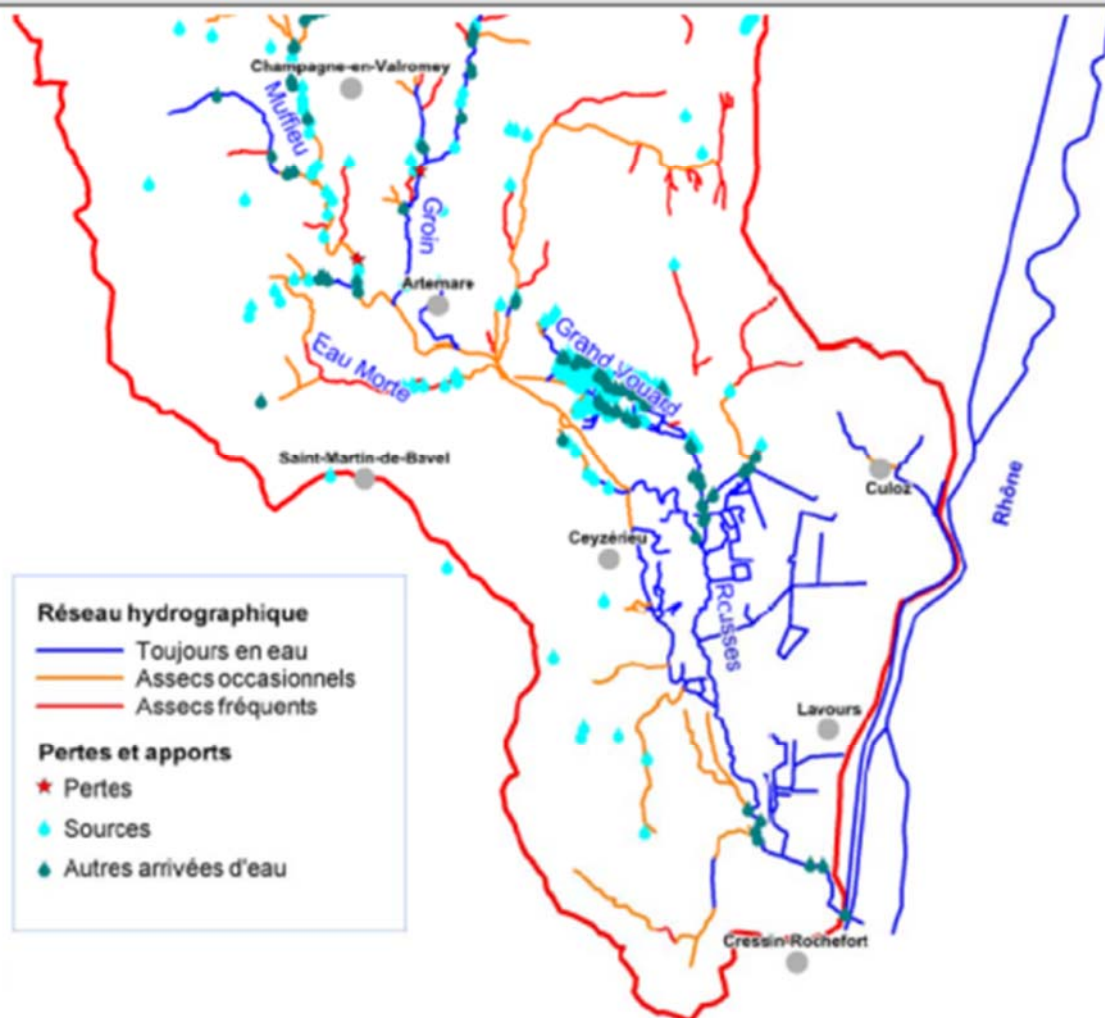
VCN 10 : débit minimal sur 10 jours consécutifs

Figure 10 : Caractéristiques d'étiage du Groin et du Séran

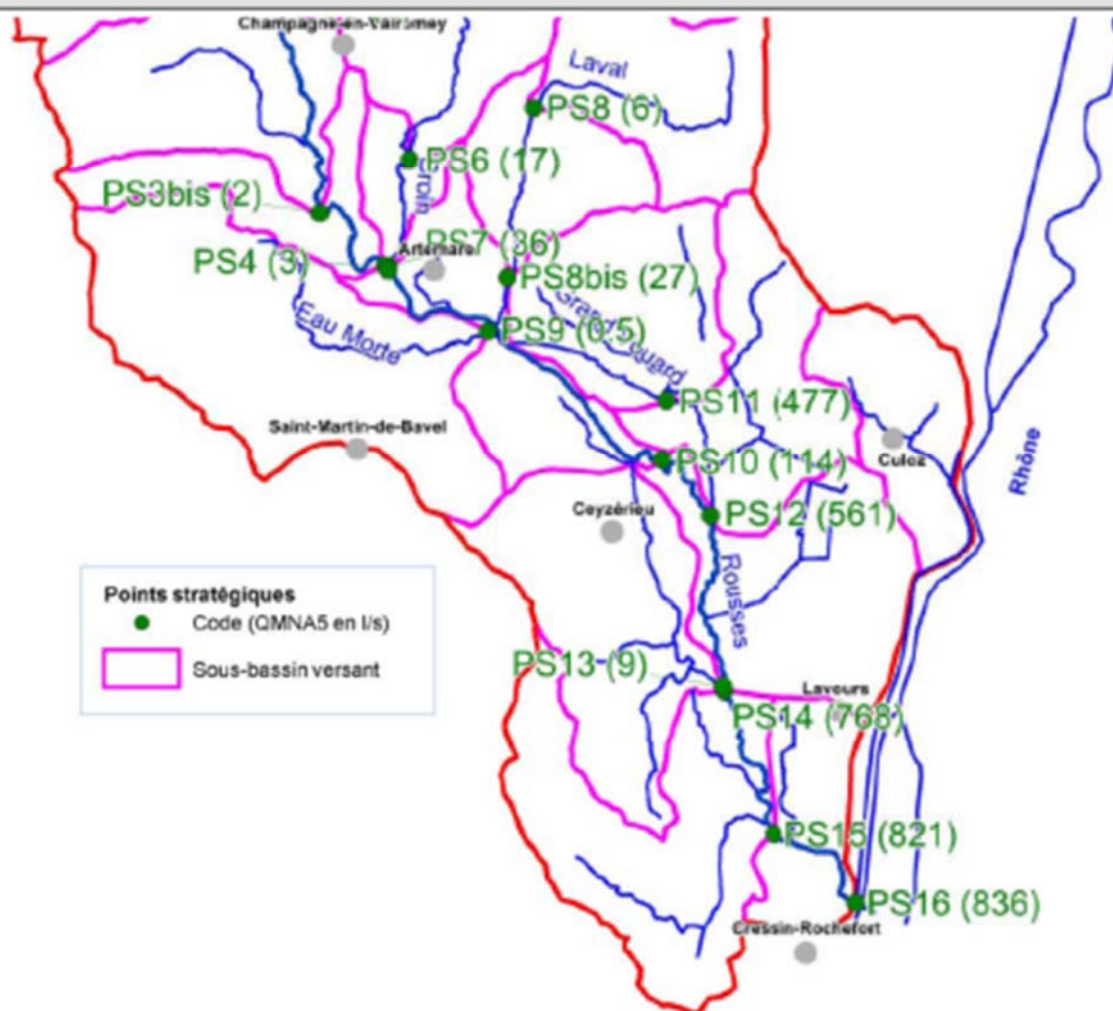
Période de retour (ans)	2	5	10	20	50	100
Séran à la Bavosière (158 km²) GMJ (m³/s)	23	33	39	45	55	78
Groin à Cerveyrieu (42km²) GMJ (m³/s)	36	46	53	59	78	89

Tableau 12 : Valeur des débits moyens journaliers (GMJ) et période de retour

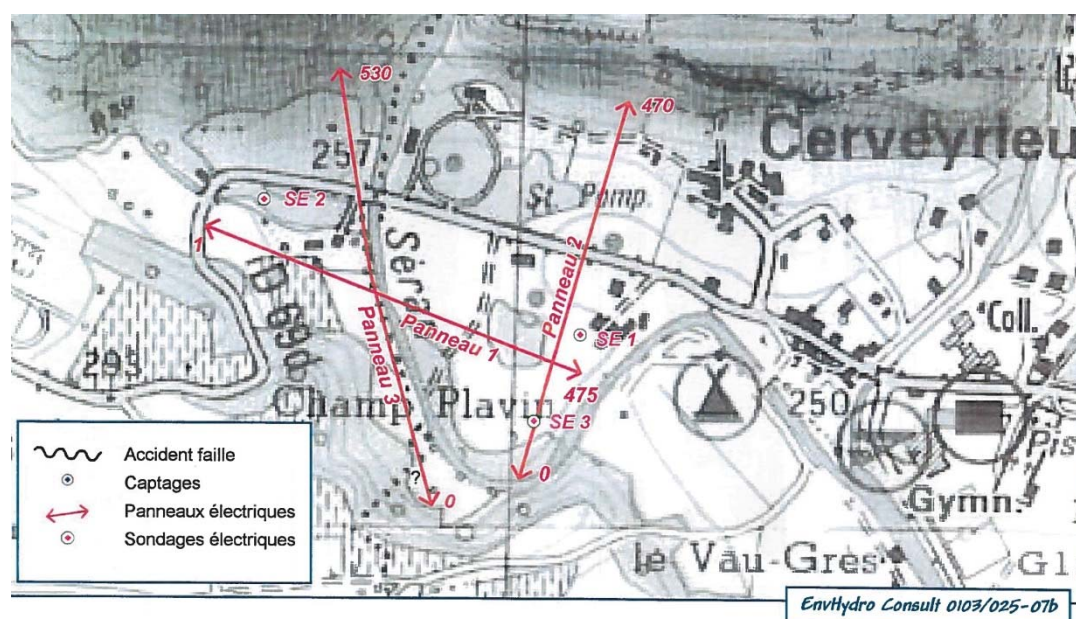
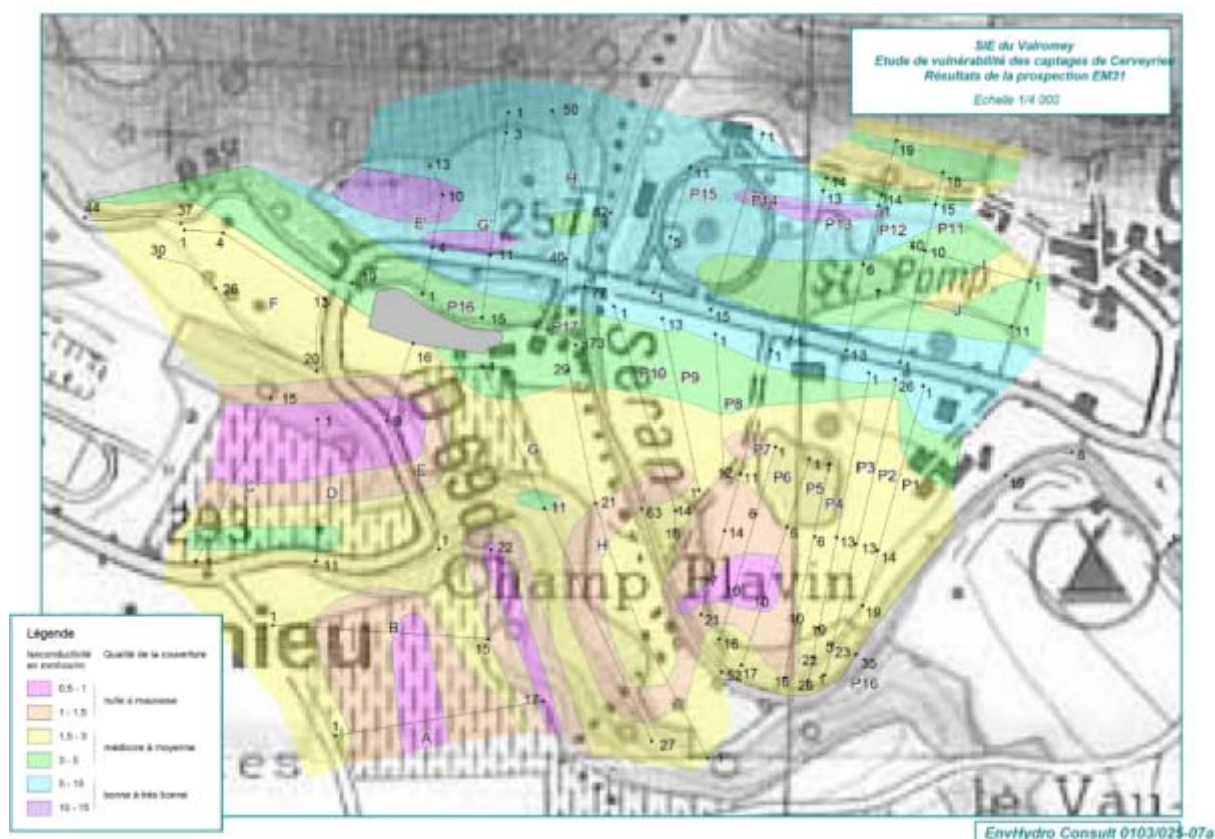
Carte n°23 : Hydrologie des étiages des cours d'eau du bassin versant du Séran

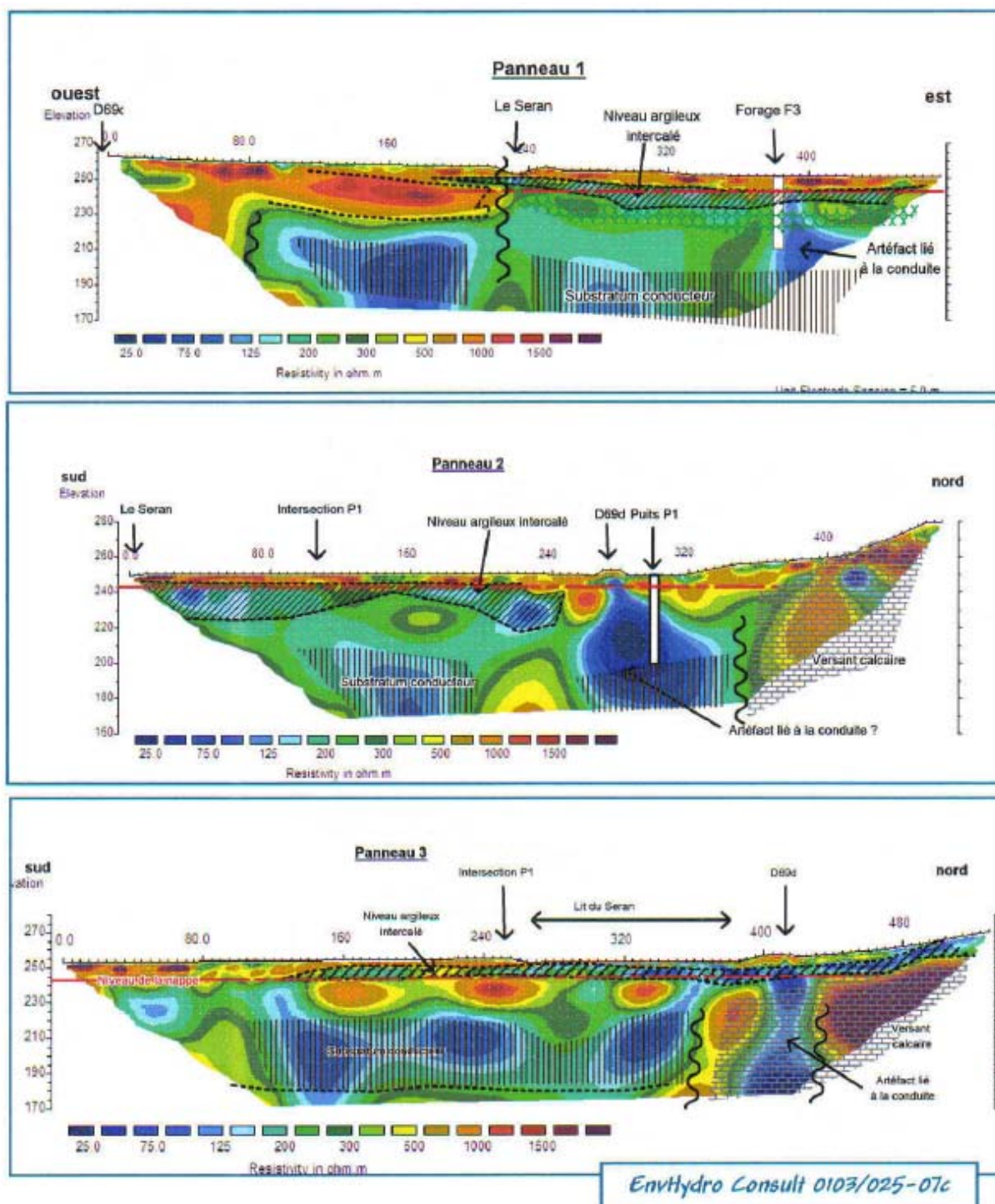


Carte n°26 : Etiage mensuel de référence

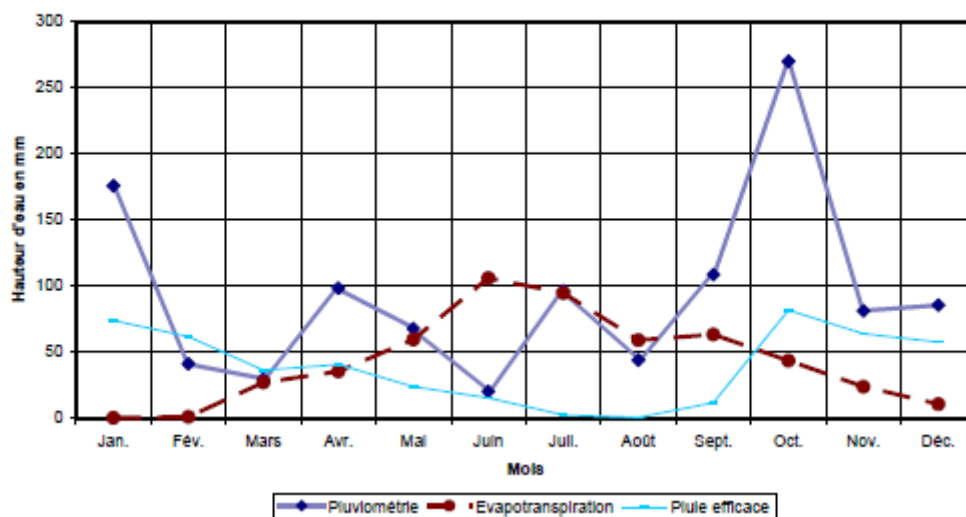


2005 - EnvHydro Consult - Etude de vulnérabilité de la zone de captage de Cerveyrieu (01)





BILAN HYDROCLIMATIQUE
Sutrieu 2002-2004



BILAN HYDROCLIMATIQUE
Virieu le Petit 1999-2003

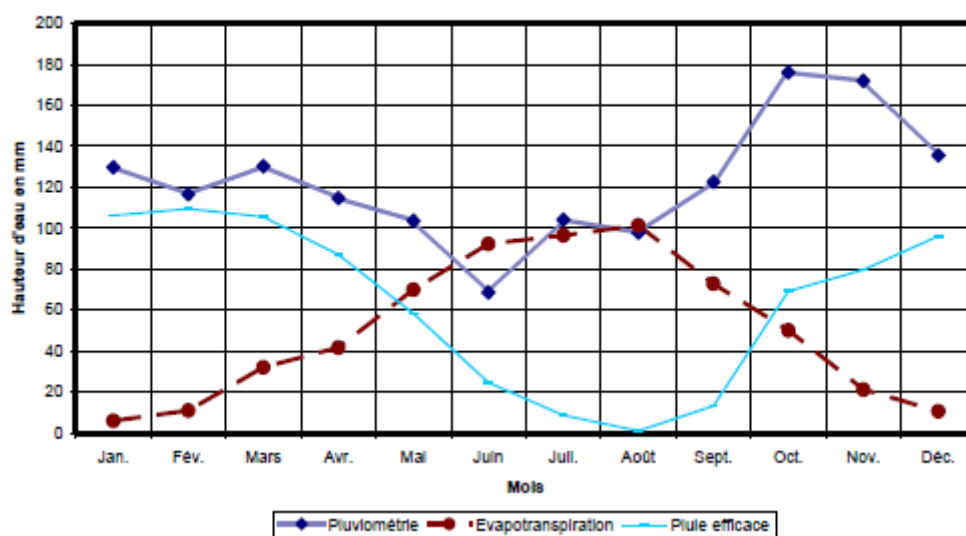
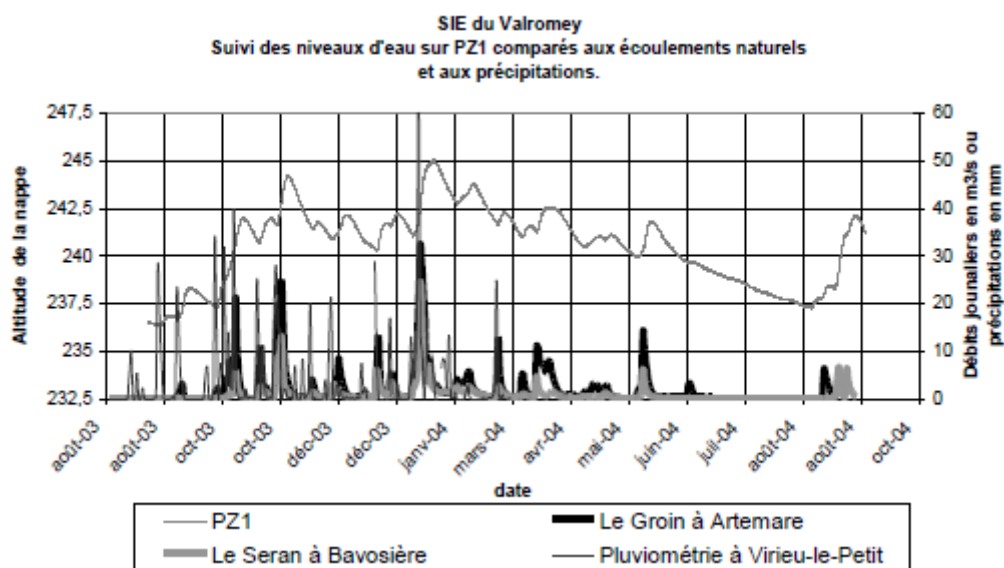
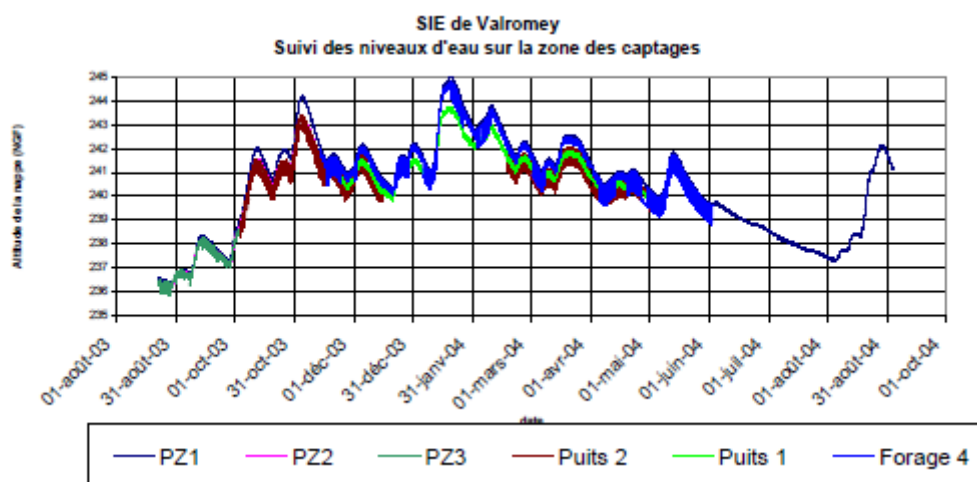


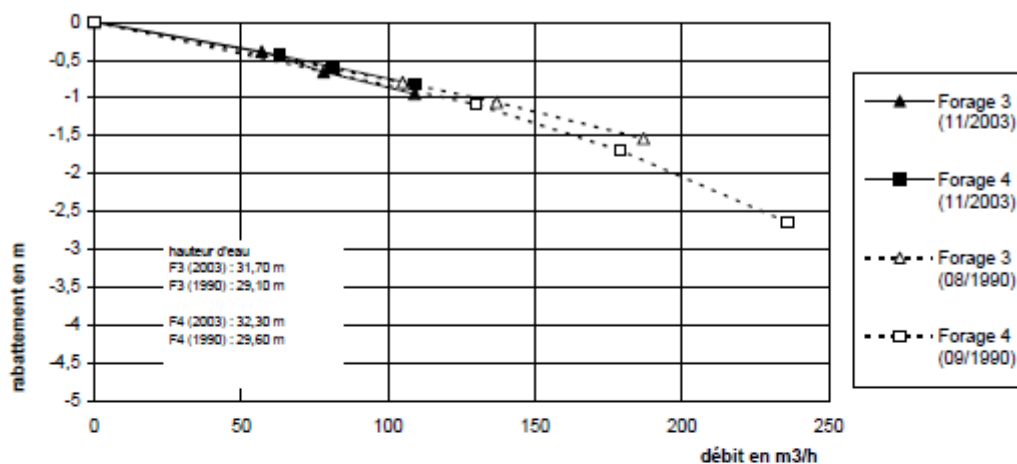
Tableau 2 : Principales données hydrologiques sur le Séran et le Groin

	SÉRAN	GROIN	SÉRAN + GROIN (aval Artemare)	ALBARINE
Superficie du bassin versant (km ²)	158	42	200	137
Débit moyen annuel 1960-1979 (m ³ /s)	1,34	3,49	4,83	4,36
Débit spécifique (l/s/km ²)	8,5	83,0	24,15	32,3

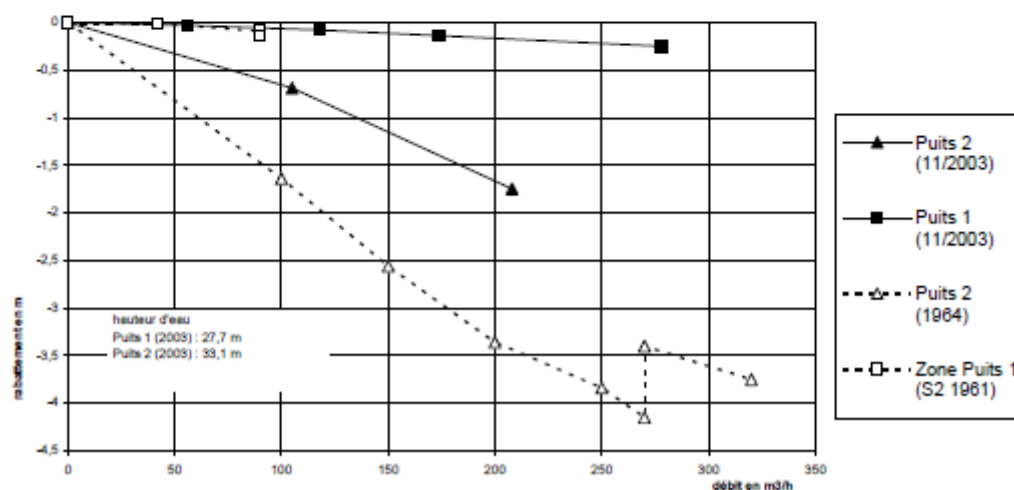
(extrait du rapport de M. Lyet - 09/1981)



SIE du VALROMEY - Courbes caractéristiques des forages - Essais de 1990 et 2003

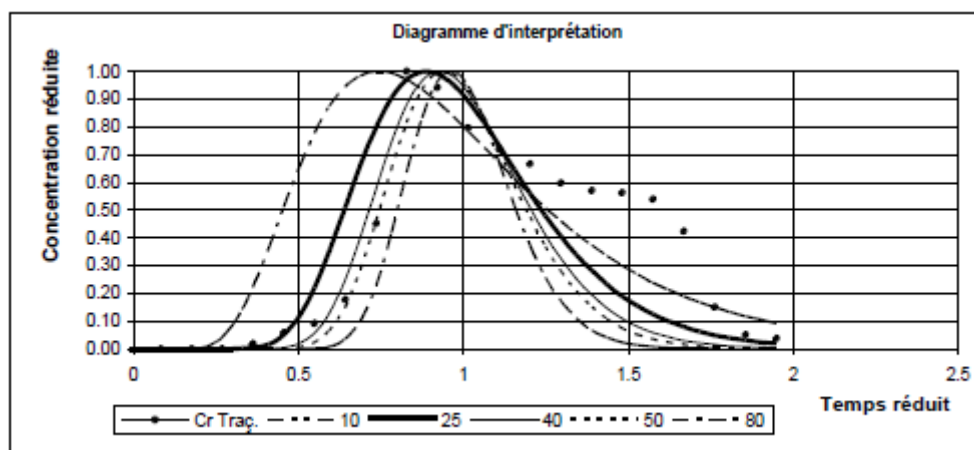
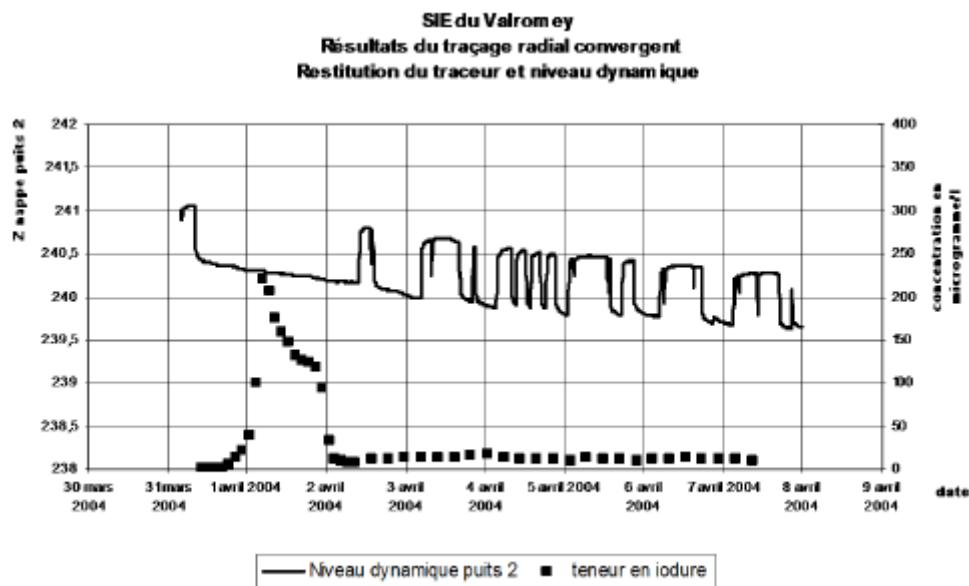


SIE du VALROMEY - Courbes caractéristiques des puits - Essais de novembre 2003

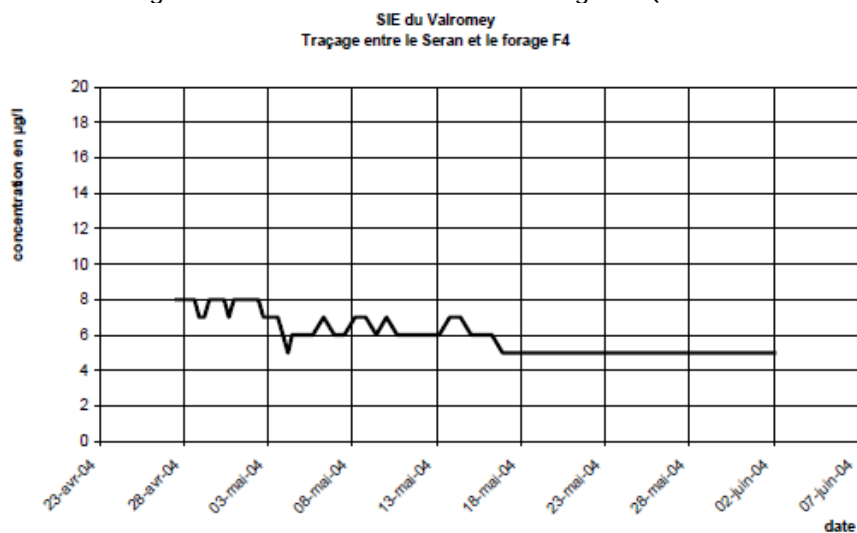


	Profondeur en m	Niveau statique en m	Date	Débit en m³/h	Rabattement en m	Perméabilité en m/s	Transmissivité en m²/s
P1	34,20	6,50	Nov. 03	280	0,25	8.10^{-3} à 10^{-2}	220 à 270.10^{-3}
P2	40,00	6,90	Nov. 03	105	0,70	$0,9$ à $1,2.10^{-3}$	28 à 39.10^{-3}
F3	40,00	8,30	Nov. 03	115	0,95	$0,8$ à 1.10^{-3}	25 à 38.10^{-3}
F4	40,00	7,70	Nov. 03	115	0,80	$0,9$ à $1,2.10^{-3}$	29 à 38.10^{-3}

Traçage radial convergent réalisé entre le piézomètre Pz5 et le puits P2 (distants de 25 m).



Traçage radial convergent réalisé entre le Sérán et le forage F4 (90 m entre F4 et la berge)



SIE du Valromey : Campagnes de piézométrie du 16 mars 2004 et du 10 septembre 2004

Nom	Z corrigé	Ns (16/03/04)	Z (16/03/04)	Ns (10/09/04)	Z (10/09/04)	Nom échantillon C2
A eau réservoir	283,19	0,00	283,18	0,00	283,19	Source château
D2.15 PR	235,42	1,41	234,01	1,27	234,15	
D2.5 PR	235,37	1,05	234,32	3,15	232,22	
D3.15 PR	239,59	2,96	236,63	3,55	236,04	D3-15
D3.5 sol	238,84	2,35	236,48	2,87	235,97	
Echelle Séran	237,81	2,20	235,61	non mesurée		
Fil d'eau Séran.repère nivellement 35	243,90	0,00	243,90	0,00	243,90	Le Séran (aval du Fion)
Forage carrière (101)	264,54	3,00	261,54	non acc ,		
Forage F4 PR	249,67	7,71	241,95	non acc,		
Puits 103 PR	240,98	1,25	239,72	2,50	238,48	Puits irrigation
Puits 103bis PR	240,81	1,01	239,79	2,37	238,44	
Puits 104 PR-sol	245,30	3,85	241,44	4,60	240,70	P10
Puits 105 PR-sol	245,12	3,95	241,17	<4,8 sec		
Puits 106 PR	245,18	3,75	241,42	non acc,		
Puits 107 PR	242,09	2,50	239,59	3,55	238,54	S1
Puits 108 PR	243,26	3,48	239,78	non acc,		
Puits 109 PR	245,37	5,58	239,79	non acc,		
Puits P1 PR	248,35	6,81	241,54	8,66	239,69	Puits 1
Puits P2 PR	248,81	7,30	241,51	9,05	239,76	Puits 2
Pz 1 PR	249,64	7,64	242	9,63	240,01	Pz1
Pz 2 PR	248,51	7,02	241,49	8,75	239,76	
Pz 3 PR	248,42	6,85	241,57	8,70	239,72	
Pz 4 PR	249,03	7,45	241,57	9,24	239,79	
Pz 5 PR	254,97	12,85	242,11	14,80	240,17	Pz5
Pz ancien PR	250,72	8,74	241,98	10,74	239,98	
Source 1 (100)	255,07	0,00	255,07	0,00	255,07	Source 1
Source 3	238,62	0,00	238,62		238,62	
Source du groin						Source du Groin

PR : Point repère ; non acc. : non accessible

1996 - BURGEAP - Etude de la nappe de Cerveyrieu - Potentiel et vulnérabilité

Nappe au repos

	P1	P2	F3	F4	Pz1	Pz2	Pz3	Pz ancien
Cote piézométrique (m NGF)	229.06	229.141	229.357	229.342	229.51	229.27	229.25	229.528

Pompage sur F3

	P1	P2	F3	F4	Pz1	Pz2	Pz3	Pz ancien
Débit (m3/h)	0	0	114	0	-	-	-	-
s initial (m)	0	0	0	0	0	0	0	0
s final (m)	0.01	0.005	0.83	0.245	0.125	0.01	0.01	0.185
sf - si (m)	0.01	0.005	0.83	0.245	0.125	0.01	0.01	0.185

Pompage sur F3 + F4

	P1	P2	F3	F4	Pz1	Pz2	Pz3	Pz ancien
Débit (m3/h)	0	0	113.6	115	-	-	-	-
s initial (m)	0.01	0.005	0.83	0.245	0.125	0.01	0.01	0.185
s final (m)	0.045	0.03	1.245	1.275	0.26	0.05	0.045	0.335
sf - si (m)	0.035	0.025	0.415	1.03	0.135	0.04	0.035	0.15

Pompage sur P2 + F3 + F4

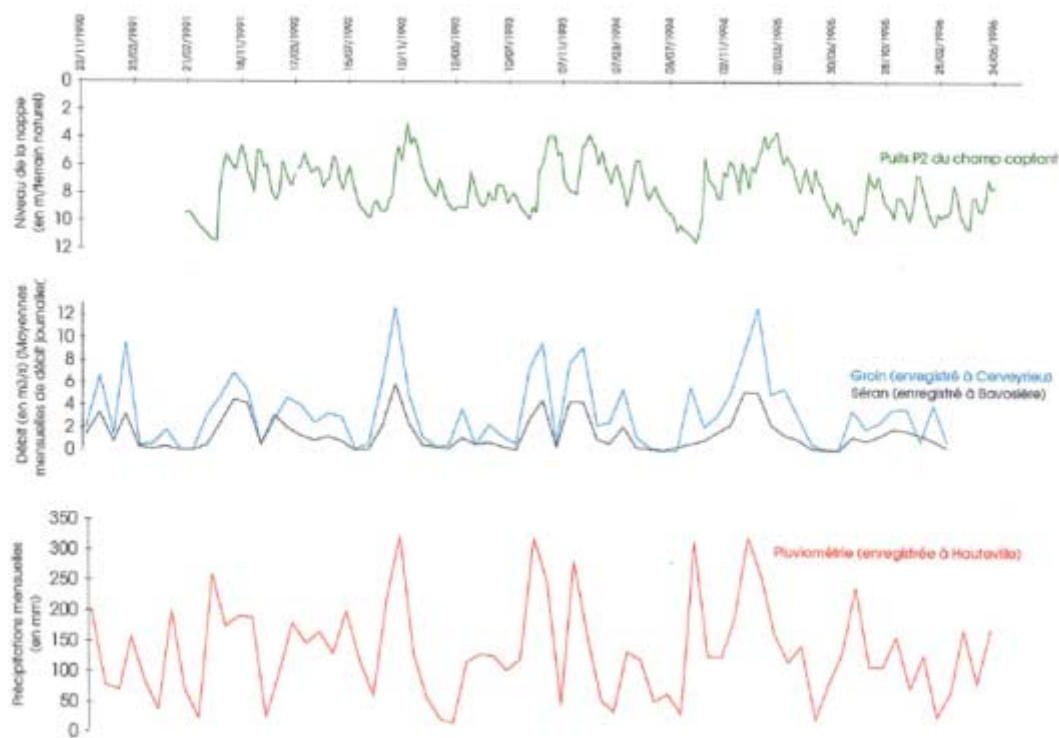
	P1	P2	F3	F4	Pz1	Pz2	Pz3	Pz ancien
Débit (m3/h)	0	235.5		119.5	-	-	-	-
s initial (m)	0.045	0.03	1.245	1.275	0.26	0.05	0.045	0.335
s final (m)	0.14	0.835	1.23	1.305	0.31	0.28	0.215	0.39
sf - si (m)	0.095	0.805	-0.015	0.03	0.05	0.23	0.17	0.055

Méthode de calcul	Temps	Données	Puits P1 d=197.5 m	Puits P2 d=80.6 m	Forage F3	Forage F4 d=11.25 m	Pz 1 d=50 m	Pz 2 d= 91.9 m	Pz 3 d=135 m	Pz ancien d=44.4 m
THEIS	Etape n°1 Pompage sur F3 (Q=114.3 m3/h)	T (1E-2 m²/s) S (*1E-3)				1.91 2.01	12.6 5.7			
JACOB (sur plusieurs pz)	Etape n°1 Pompage sur F3 (Q=114.3 m3/h)	T (1E-2 m²/s)			5.7					
JACOB	Etape n°5 Remontée	T (1E-2 m²/s) S (*1E-3)	24.2	6.46		9.22	10 3.68		9.6	10.2

BURGEAP

Figure 4 : Evolutions comparées du niveau de la nappe, des débits du Séran et du Groin, et de la pluviométrie.

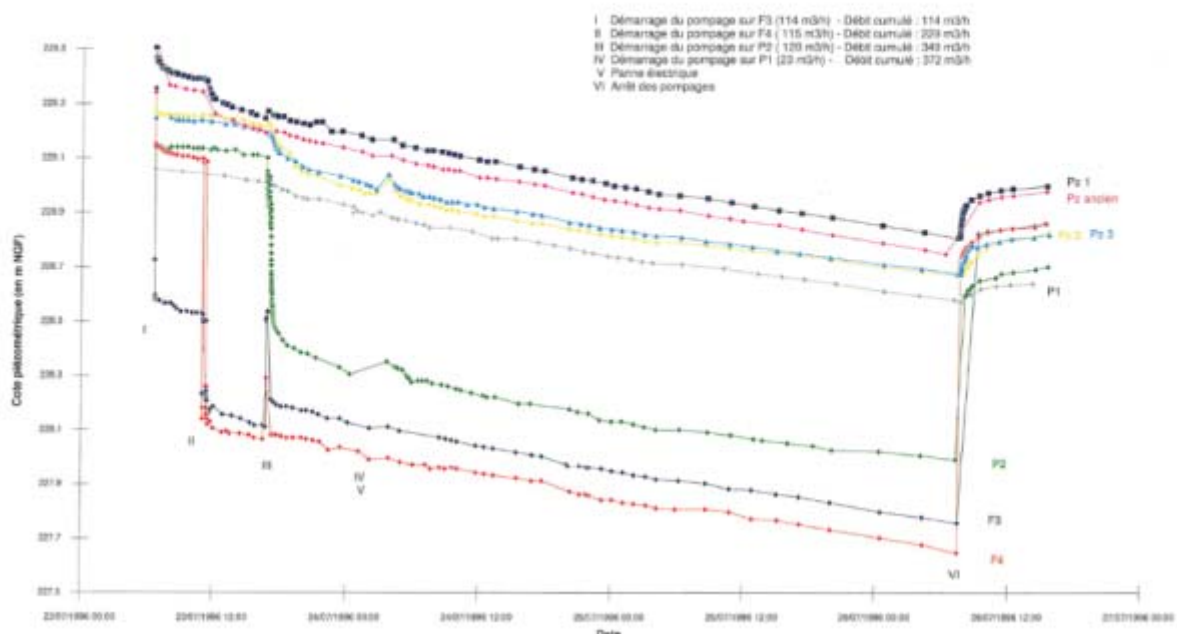
SIE DU VALROMEY

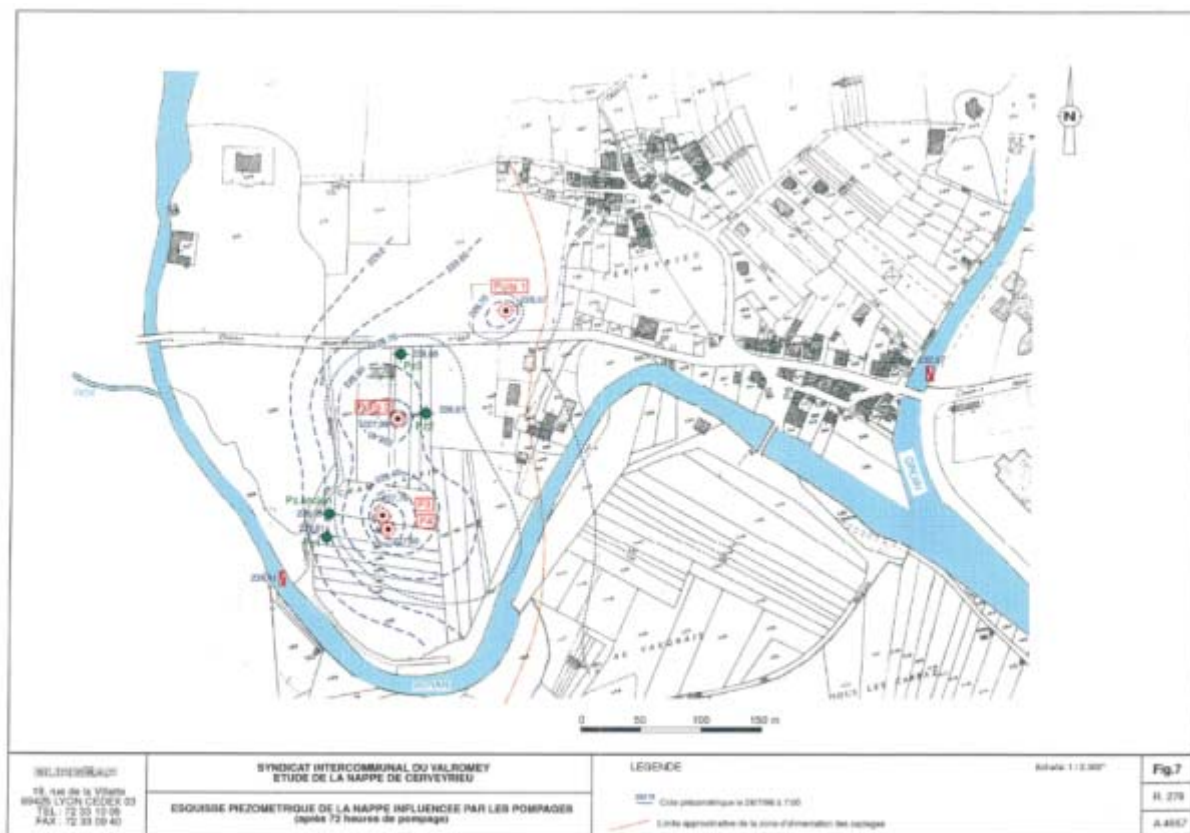


BURGEAP

Figure 6 : Suivi des niveaux de la nappe sur les puits et les piézomètres lors de l'essai de pompage

SIE DU VALROMEY





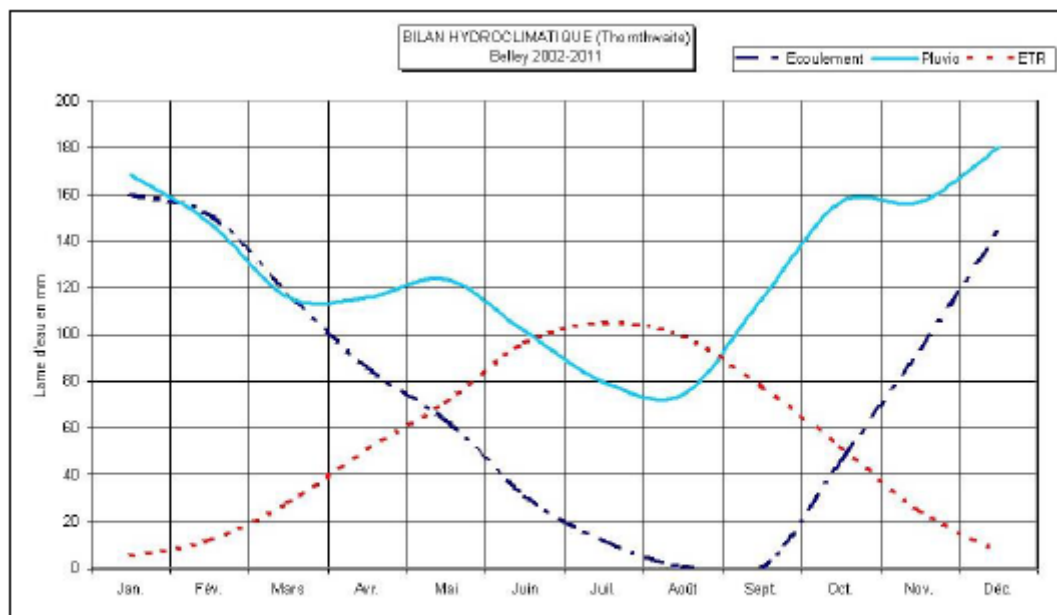
2013 - CPGF - Horizon - Recherche des sources potentielles de pollution des eaux du puits de Ceyzerieu

Tableau 3 : Données climatiques des 10 dernières années à Belley

Années	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Précipitations (mm)	1221	858	1092	845	1068	1094	1302	1050	1006	1057
Températures (°C)	12.2	12.8	11.7	11.4	12.2	11.8	11.4	12.2	11.0	12.5
ETP (mm)	636.3	671.9	623.8	616	644.5	625.9	613.8	643.8	600.1	649.8
ETR (mm)	606.6	428.5	589	478.8	601.3	625.9	613.8	604.7	534	649.8
Pluie efficace (mm)	614.4	429.8	503.3	366.2	466.4	468.4	688.4	445.5	472	407.2
Qs (l/s/km2)	19.6	14.9	15.7	11.5	15.6	14.1	22.1	12.7	16.5	11.0

Tableau 4 : Bilan hydroclimatique pour une année moyenne 2002-2011 à Belley

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Pluvio. (mm)	87	72	89	65	94	72	78	106	64	120	107	106	1059
Temp (°C)	2.14	4.04	7.74	12.25	15.79	19.97	21.25	20.47	16.95	12.47	7.08	2.77	11.9
ETP (mm)	5.2	12	28	51	71.1	96.6	104.8	99.8	78	52.2	24.9	7.3	631
RFU	75	75	75	75	75	50.36	23.24	29.29	15.53	75	75	75	-
ETR (mm)	5.2	12	28	51	71.1	96.6	104.8	99.8	78	52.2	24.9	7.3	631
Q (mm)	81.87	59.94	60.76	13.76	23.34	0	0	0	0	8.01	82.09	98.73	428.5
Q3 (mm)	87	74.3	64.7	37.1	28	9.8	4.7	0	0	4	43.4	75.6	428.6
Qs (l/s/km2)	32.5	30.7	24.2	14.3	10.5	3.8	1.8	0	0	1.5	16.7	28.2	13.7



Station de Belley (01) - Données annuelles (2002-2011)

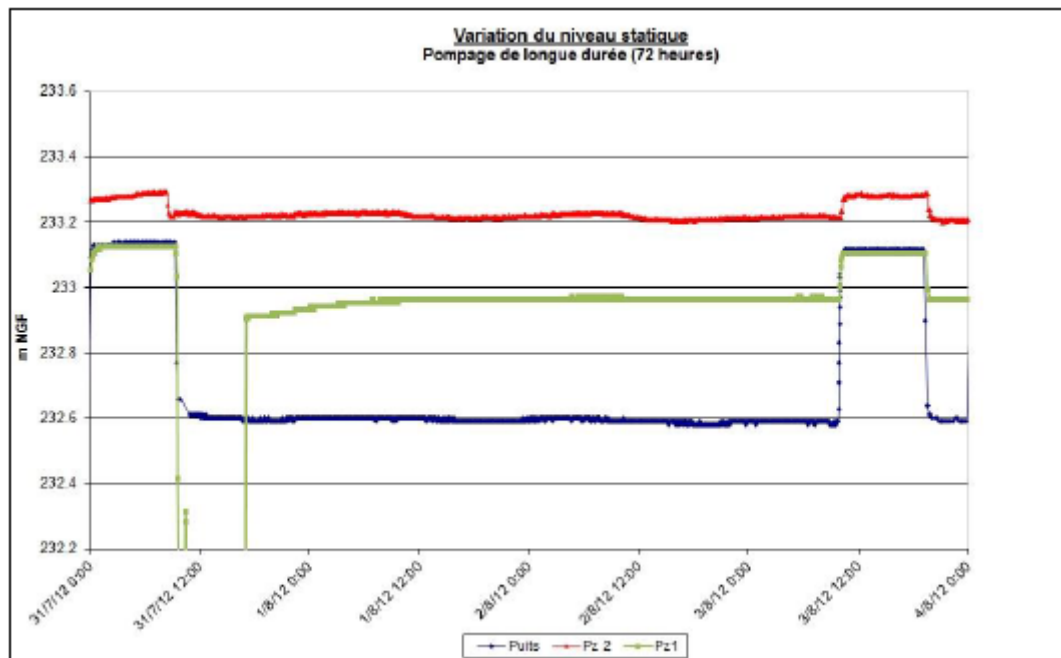
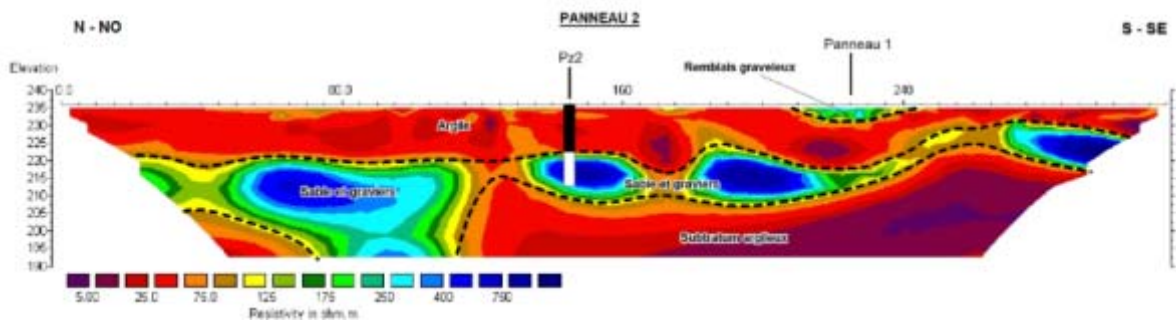
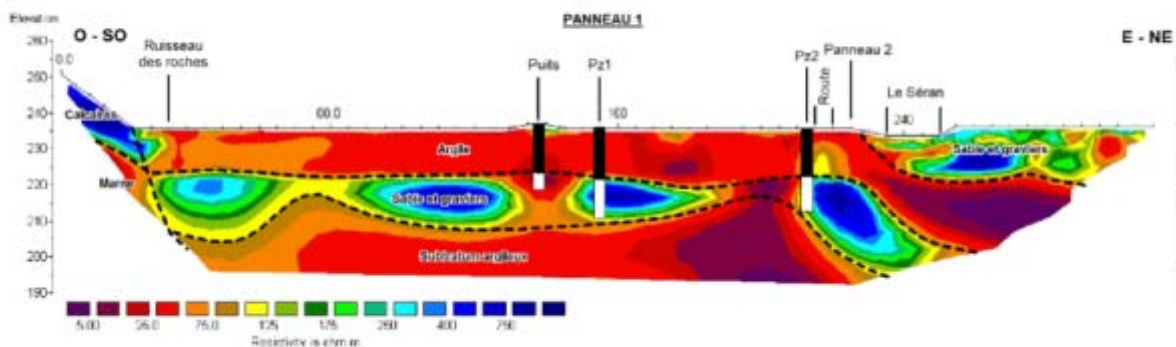
Graph 1 : Evolution de la pluviométrie, de l'évapotranspiration et de la pluviométrie efficace à la station de Belley

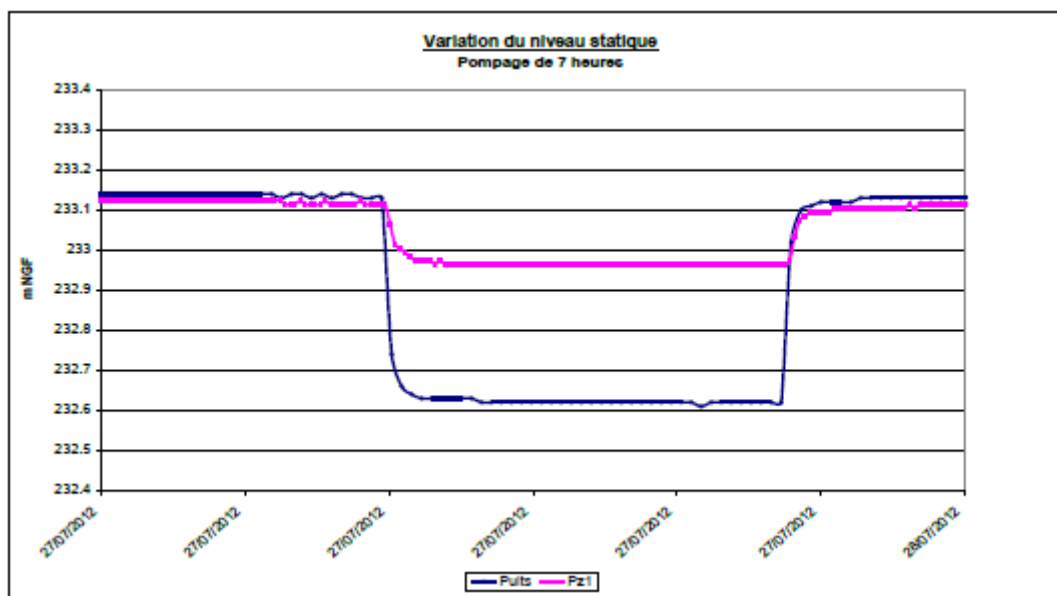
Commune de Ceyzérieu

Puits de Ceyzérieu [01]

Recherche de sources potentielles de pollution des eaux du puits de Ceyzérieu

PROFILS D'INTERPRETATION DES PANNEAUX ELECTRIQUES



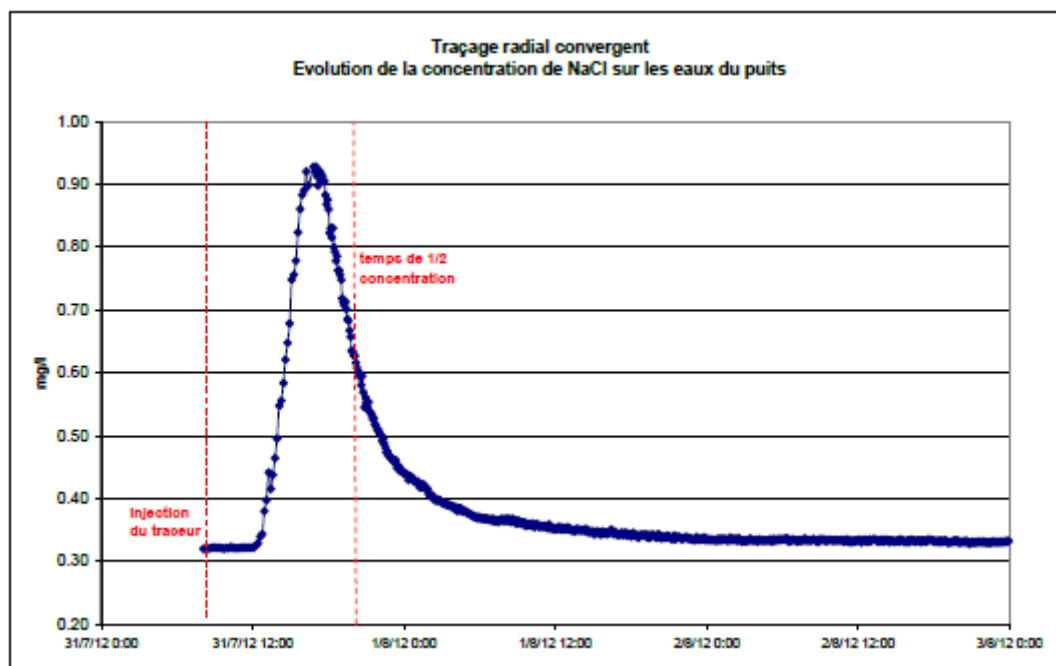


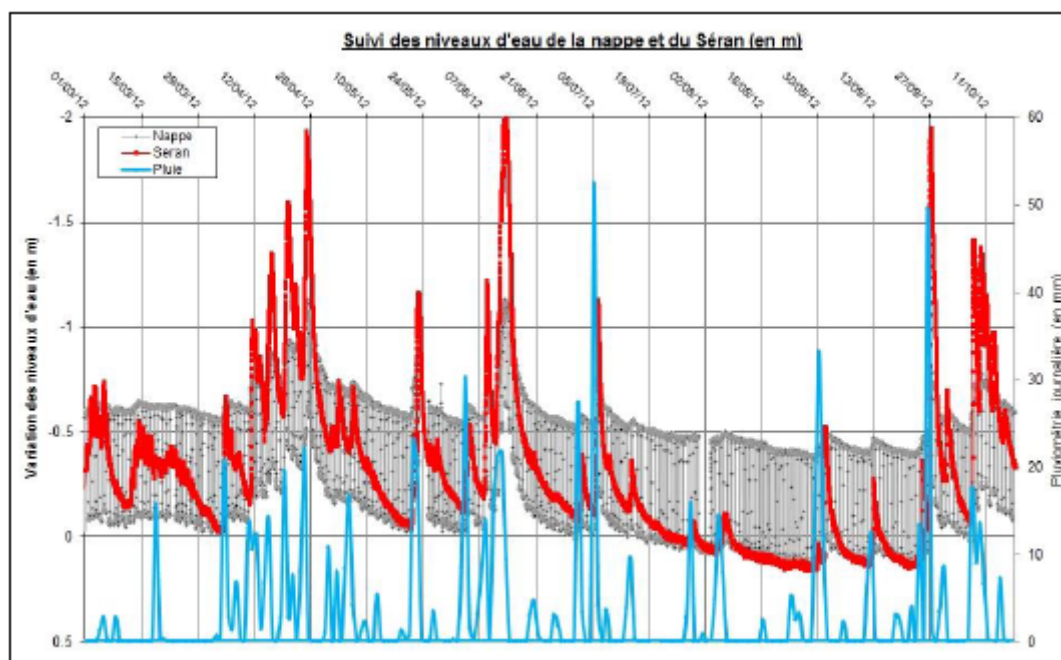
Interprétation à la descente

	Pompage de 72 heures		Pompage de 7 heures	
	Puits	Piézomètre 2	Puits	Piézomètre 1
Rabatement (m)	0.48	0,07	0.51	0.15
Transmissivité (m ² /s)	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$
Perméabilité (m/s)	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$
Emmagasinement (m/s)	-	$1,5 \cdot 10^{-8}$	-	$6,2 \cdot 10^{-5}$

Interprétation à la remontée

	Pompage de 72 heures		Pompage de 7 heures	
	Puits	Piézomètre 2	Puits	Piézomètre 1
Rabatement (m)	0.48	0,06	0.51	0.15
Transmissivité (m ² /s)	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$7,1 \cdot 10^{-2}$
Perméabilité (m/s)	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$

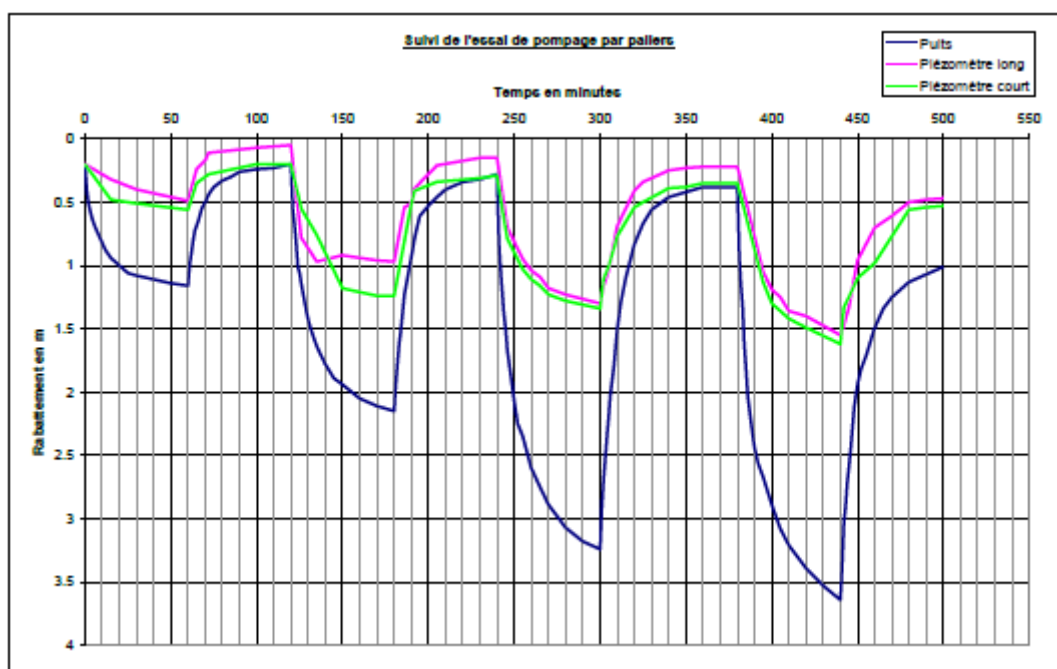


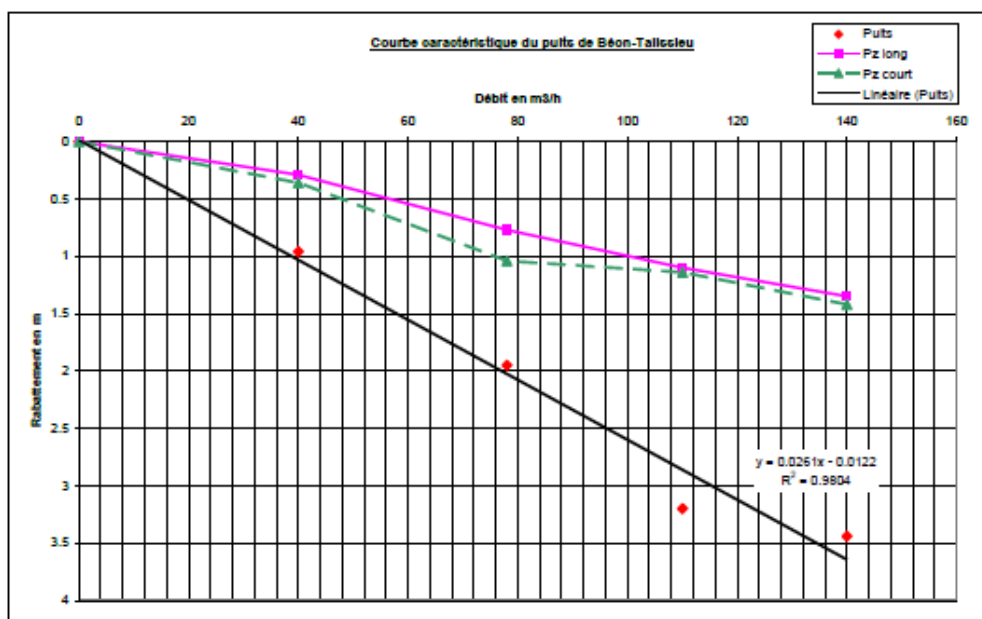


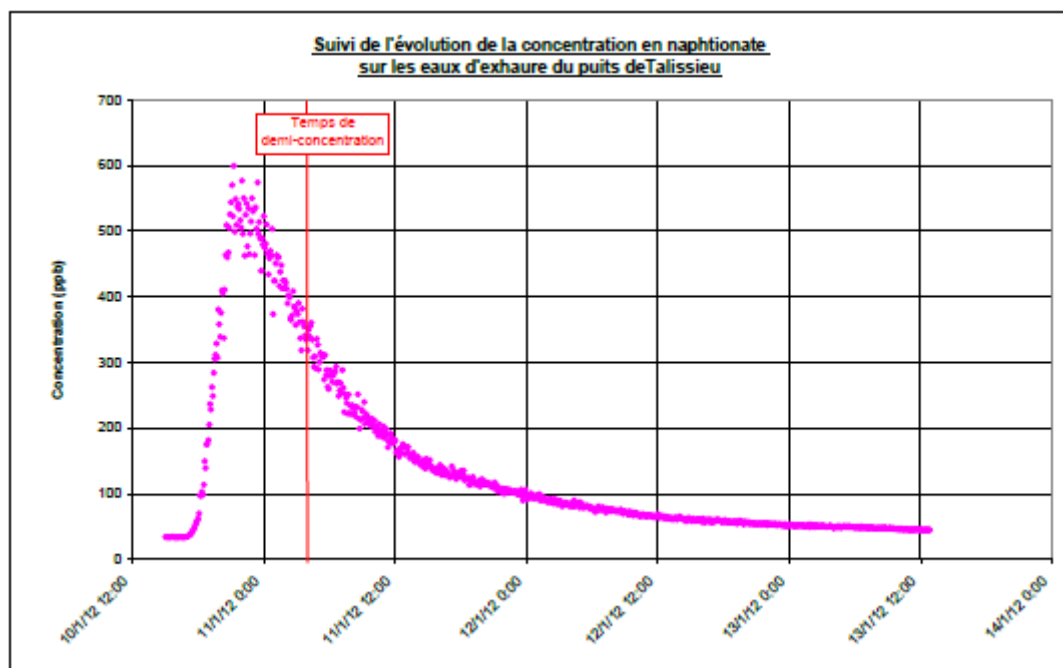
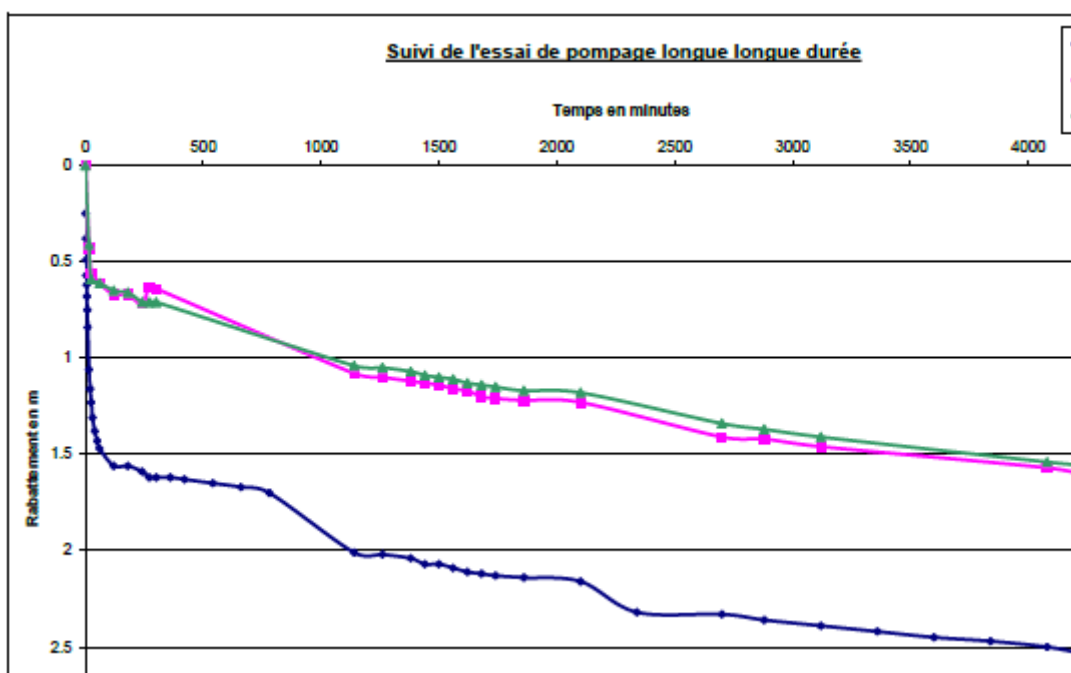
2012 - CPGF - Horizon - Etude hydrogéologique préalable à l'avis de l'hydrogéologue agréé dans le cadre de l'instauration des périmètres de protection

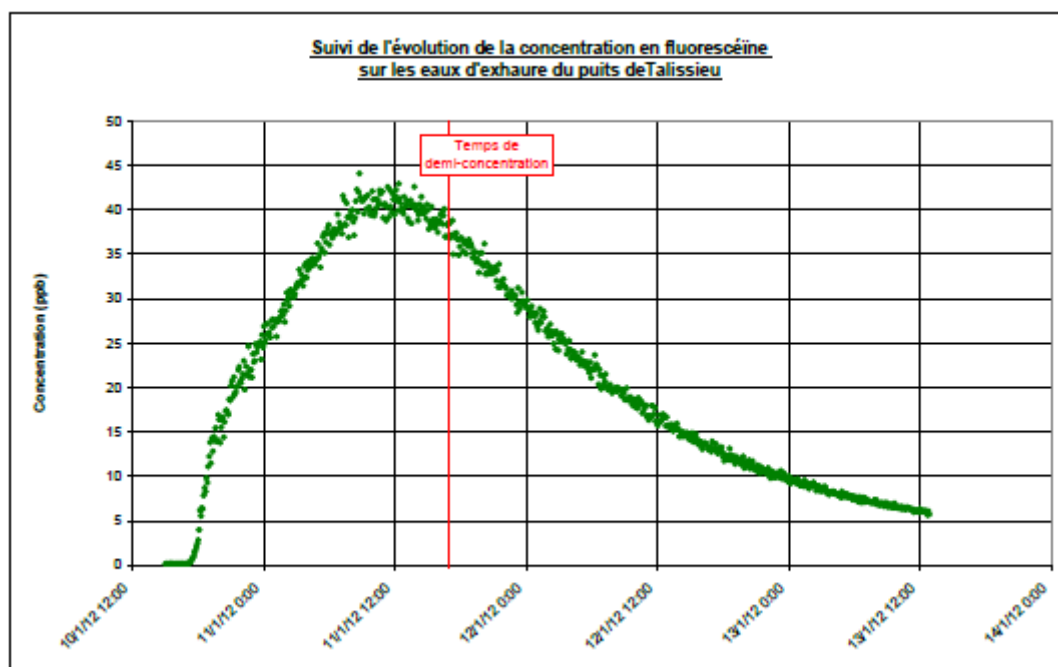
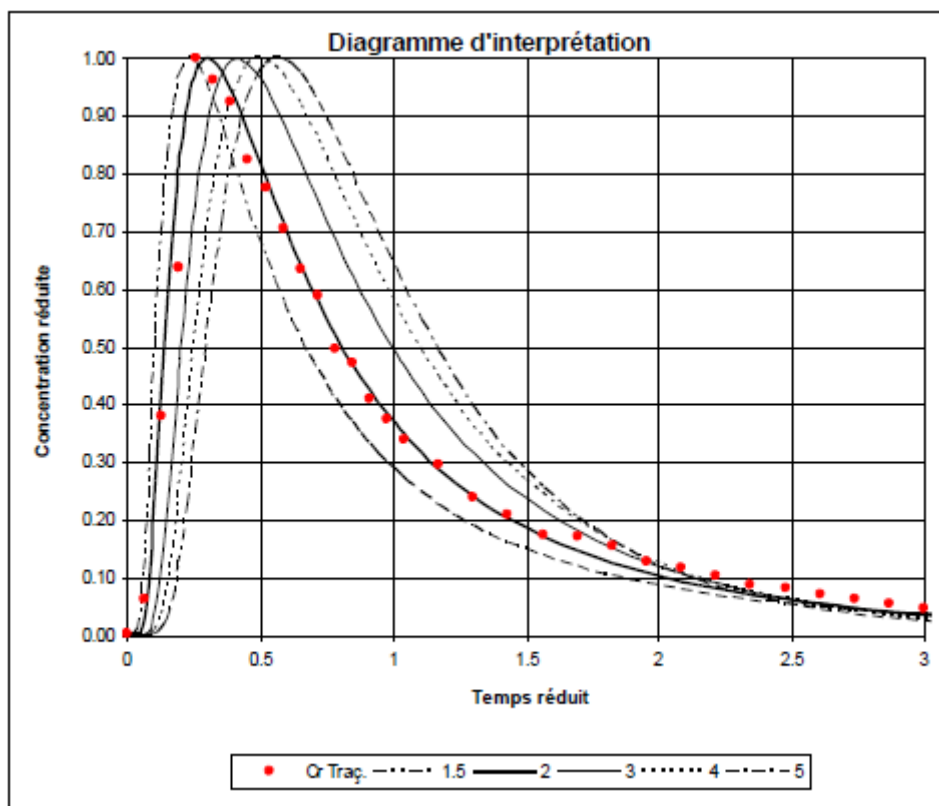
Tableau 1 : Débit de référence d'étiage pour le Vouard

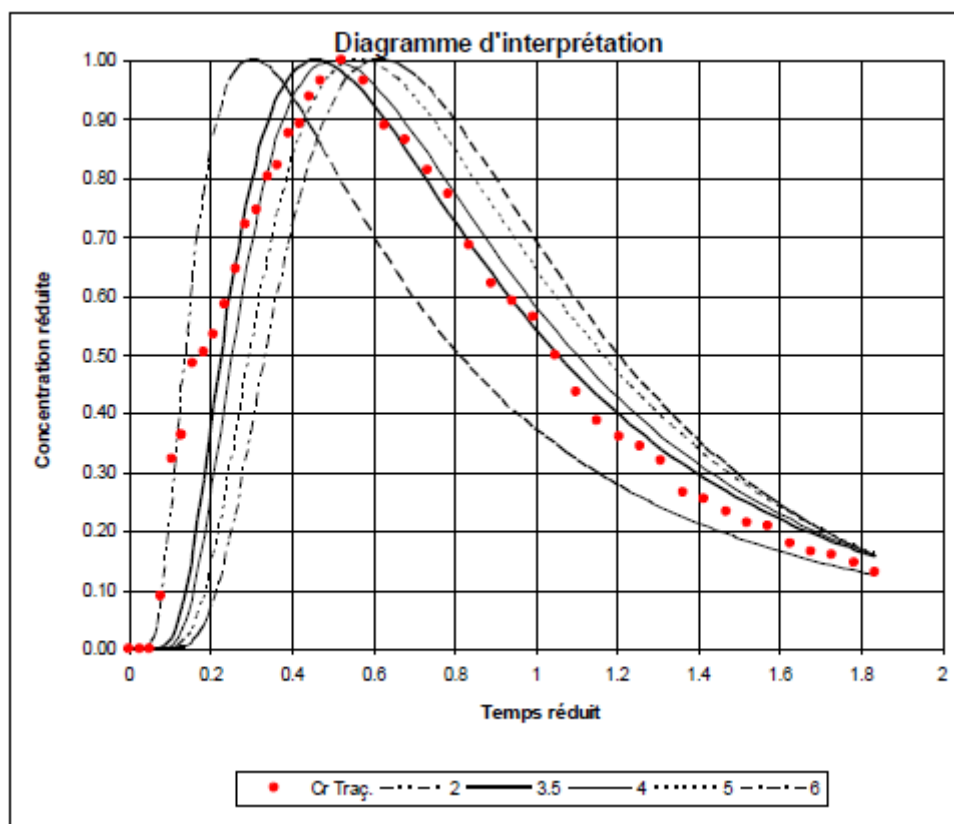
Localisation	QMNA 5 en m ³ /s
Talissieu Pont de la route de Marlieu	0,023
Talissieu « Sous-Talissieu »	0,163
Béon « Les Grindelières »	0,340











2013 - Valromey Communauté de communes - ETUDE HYDRAULIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU DU BASSIN VERSANT DU SERAN

Tableau 12: Caractéristiques des stations limnimétriques

Station	Cours d'eau	Superficie du bassin contrôle	Localisation	Altitude (m)	Années disponibles
La Bavosière	Séran	158 km²	Pont de la Bavosière (D30)	375.0	1963 - 2009
Tuilère	Séran	200 km²	Pont de la D105	234.0	1976 - 2009
Cerveyrieu	Groin	42 km²	Pont de Cerveyrieu	243.0	1961 - 2009

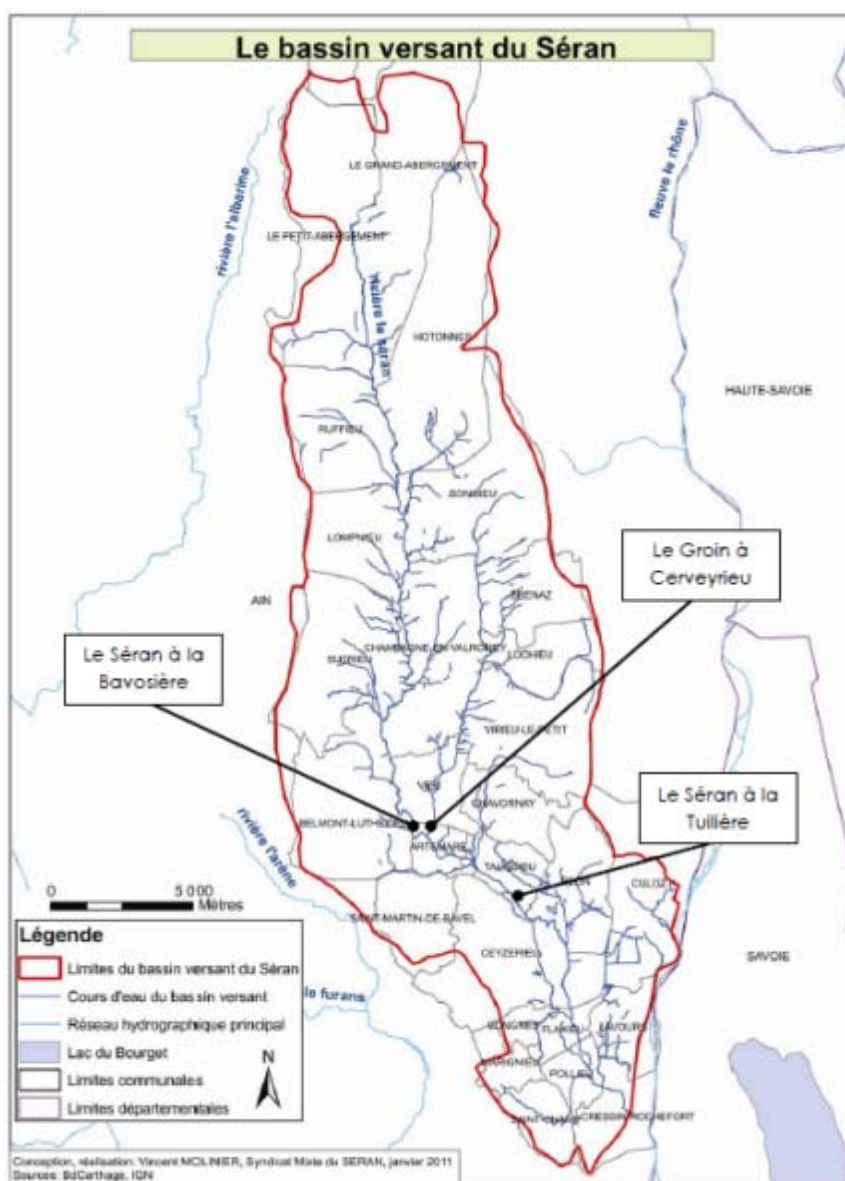


Figure 5 : Double cumulé des débits moyens journaliers du Groin à Cerveyrieu et du Sérán à la Bavosière

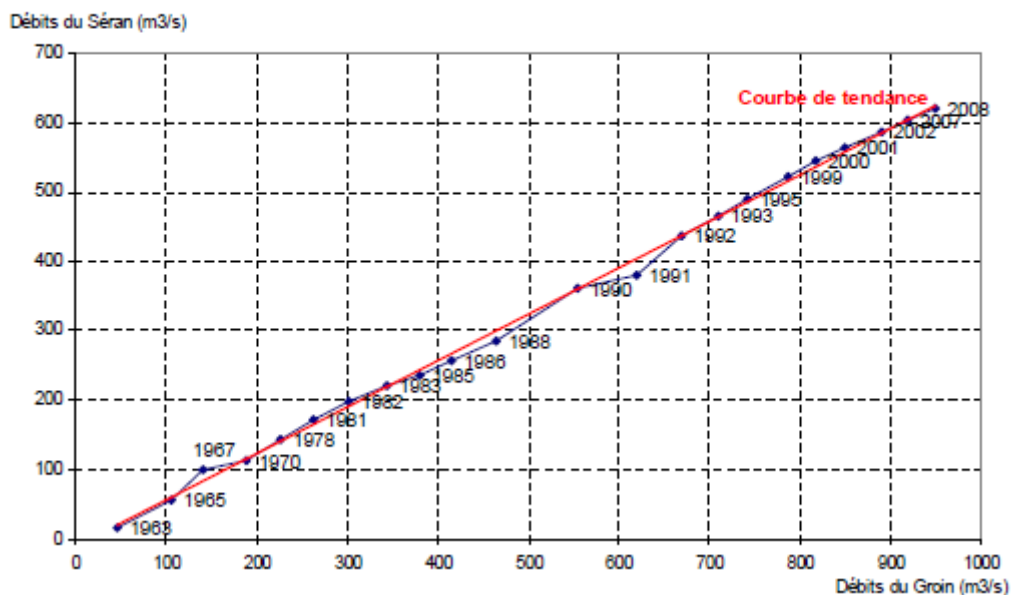


Figure 6 : Débits moyens mensuels du Groin et du Sérán (1961-2009)

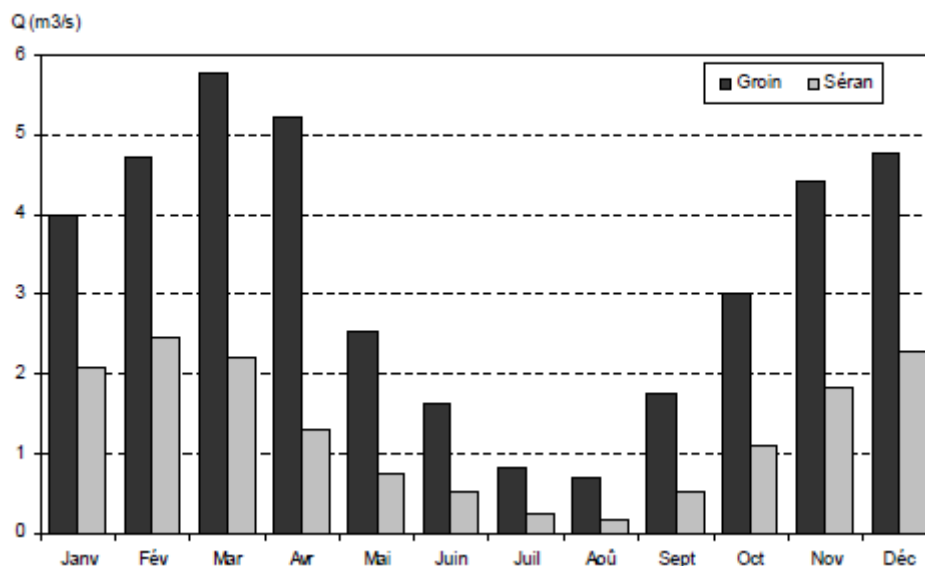
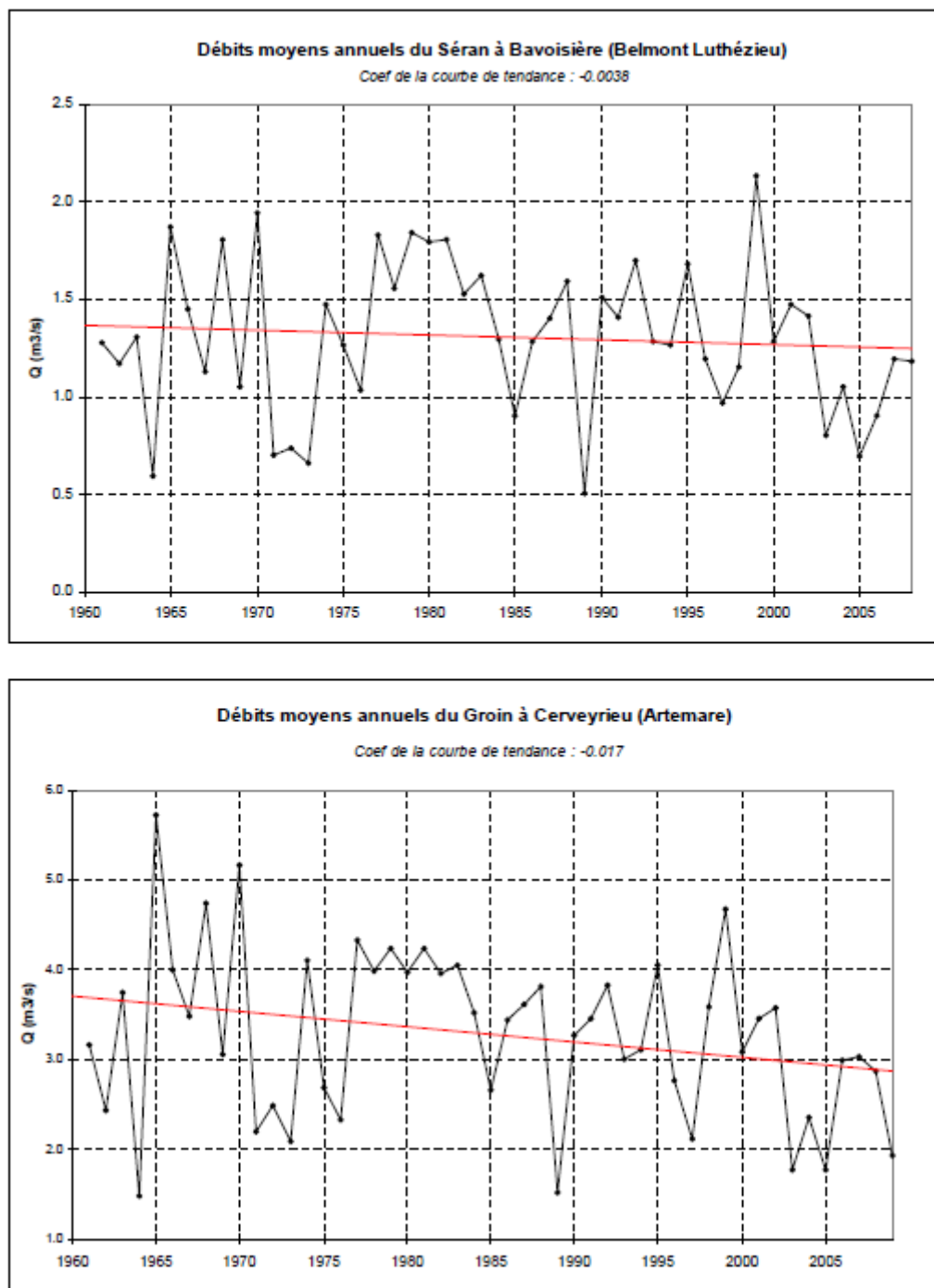


Figure 7 : Evolution et tendance des débits moyens du Sérán, du Groin, des précipitations à Belley et Hauteville-Lompnes (1961-2009)

(Courbe de tendance linéaire en rouge)



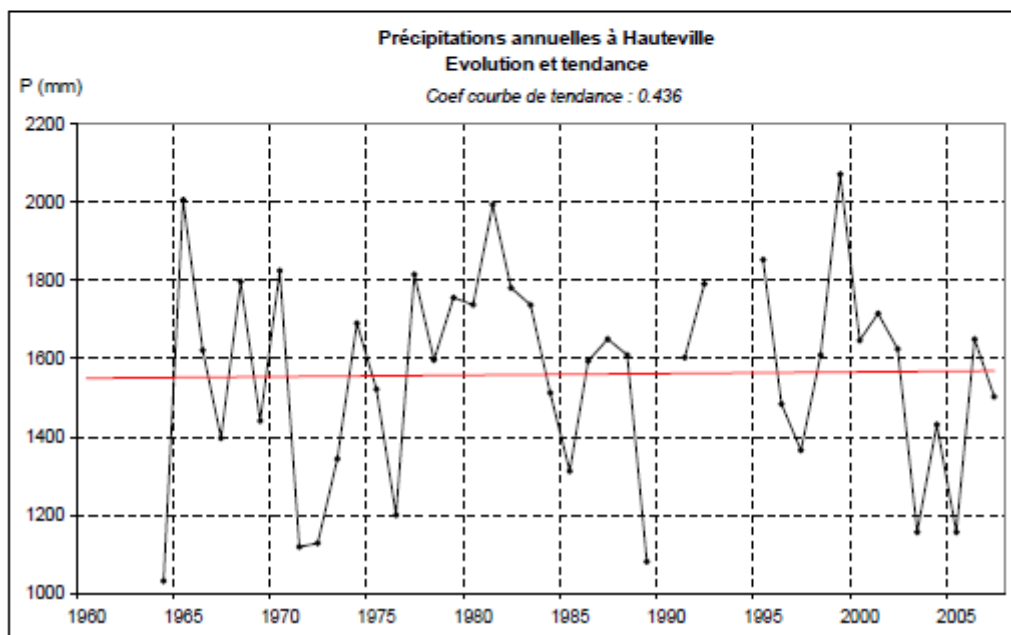
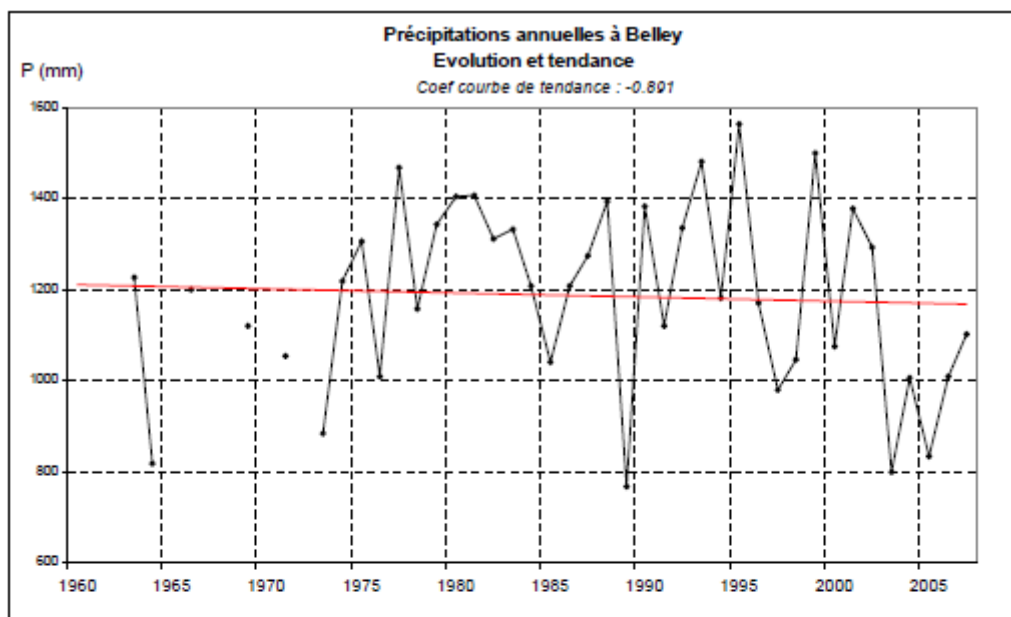


Tableau 13 : Ecoulement interannuel du Sérán et du Groin

	Sérán à la Bavosière (158 km²)	Groin à Cerveyrieu (42km²)
Module interannuel (m³/s)	1.29	3.27
Q spécifique (l/s/km²)	8.17	77.9
Lame d'eau (mm)	259	2 470
Q 5 Humide (m³/s)	1.65	4.09
Q 5 Sec (m³/s)	0.94	2.42

Lame d'eau : hauteur de précipitation écoulee sur le BV

Q5 humide : débit moyen quinquennal pour une année humide

Q5 sec : débit moyen quinquennal pour une année sèche

Tableau 15 : Caractéristiques d'étiage du Groin et du Sérán

	GMN 1		VCN 30		VCN 10	
	Année médiane	Année quinquennale sèche	Année médiane	Année quinquennale sèche	Année médiane	Année quinquennale sèche
Sérán à la Bavosière	15 l/s	2 l/s	2 l/s	1 l/s	0 l/s	0 l/s
Groin à Cerveyrieu	137 l/s	36 l/s	51 l/s	21 l/s	30 l/s	12 l/s

GMN 1 : Débit minimum mensuel

VCN 30 : débit minimal sur 30 jours consécutifs

VCN 10 : débit minimal sur 10 jours consécutifs

Tableau 16 : Ecoulements en période d'étiage. Linéaires à sec ou présentant de faibles débits

Cours d'eau	Linéaire en Km (% du linéaire du cours d'eau)		Longueur totale du cours d'eau (Km)
	A sec	Faible débit	
Séran	19.9 (48%)	10.30 (25%)	41.8
Arvière	4 (31%)		12.77
Laval	1.9 (23%)		8.27
Rousses	0		2.3
Vouard	0		4.41
Jourdan	0		2.57
Autres	72.2 (53%)		136.83
Total	98 (47%)	10.3 (5%)	208.95

Figure 21 : Hydrogramme type de crue décennale du Groin, du Sérán, et en partie aval

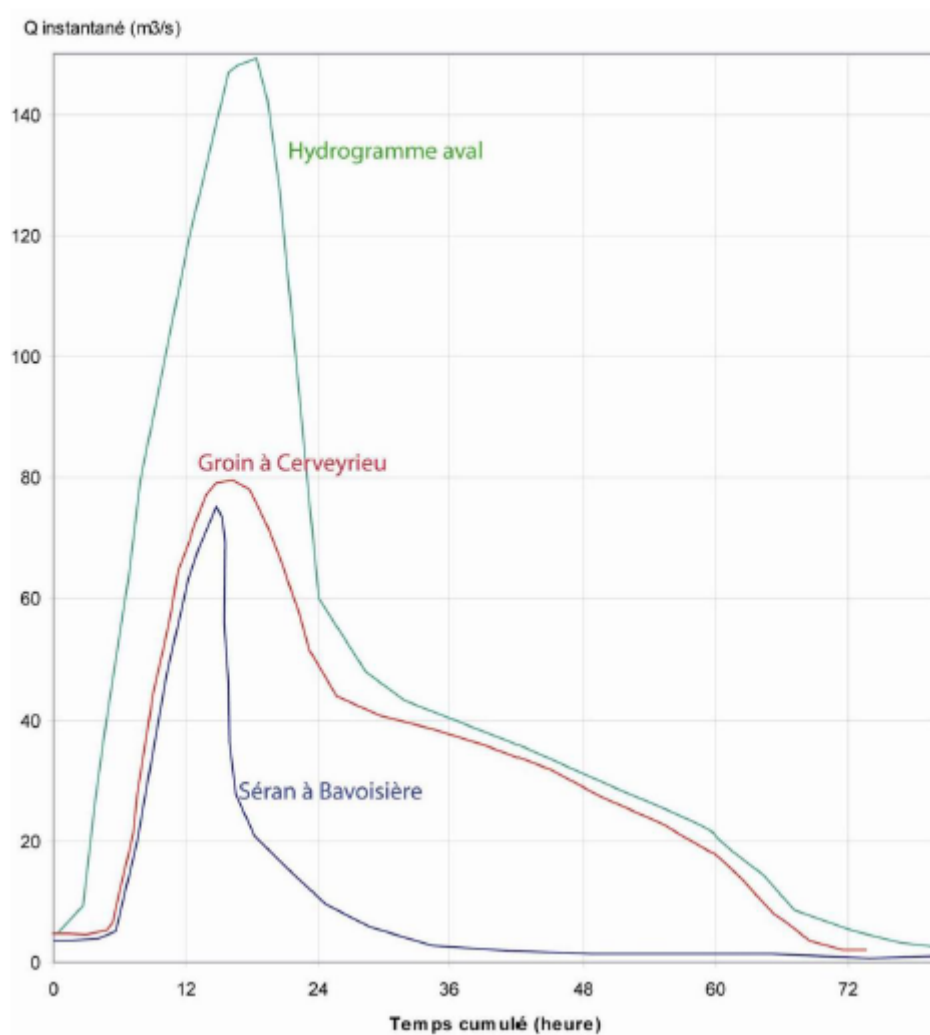
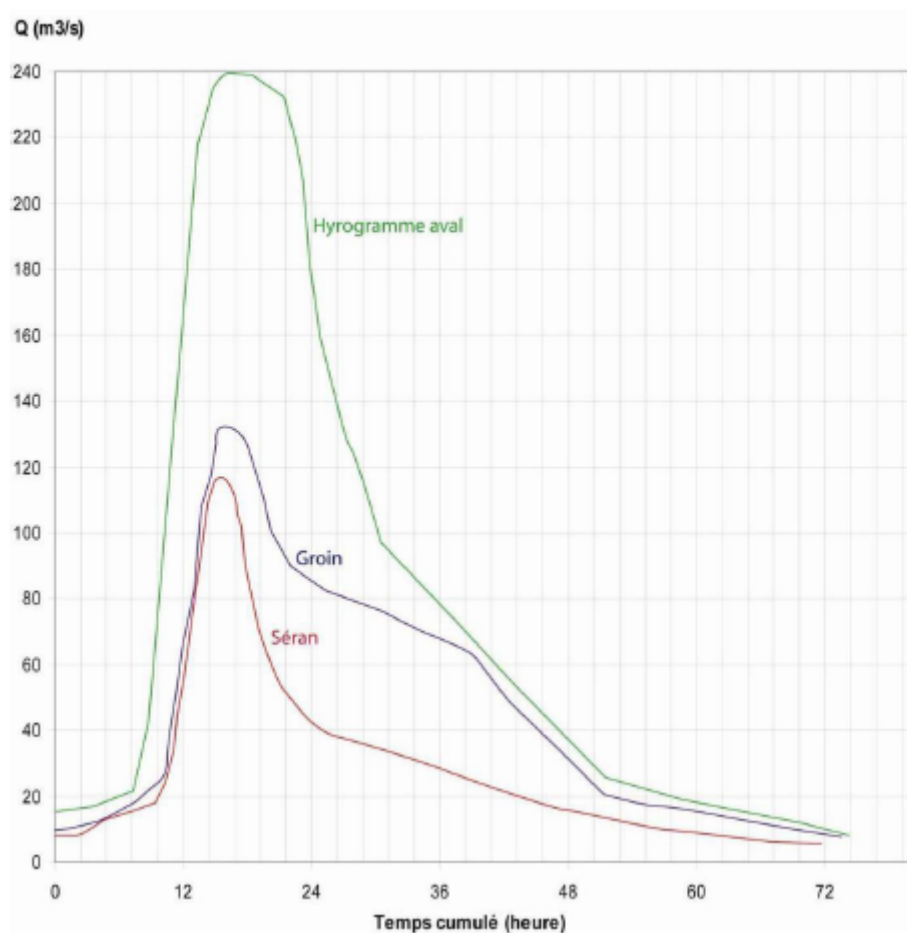
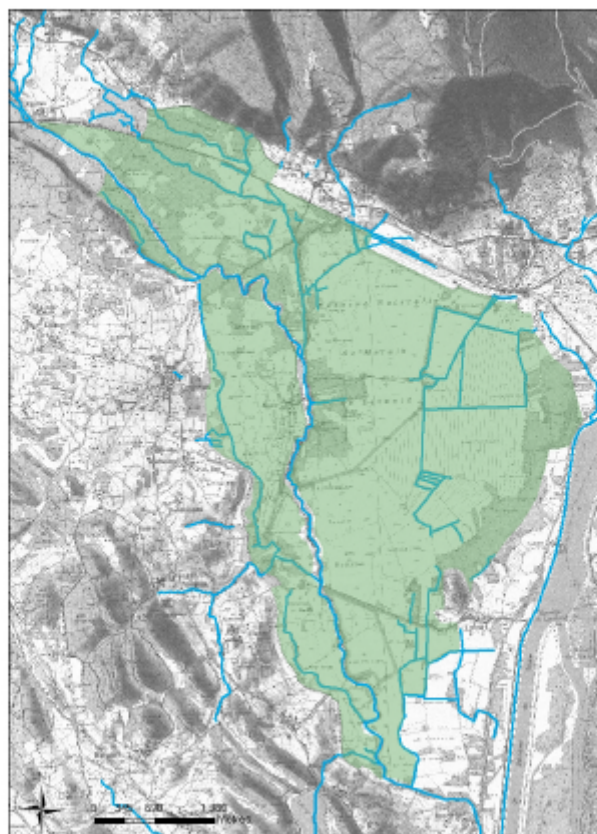


Figure 22 : Hydrogramme type de crue centennale du Groin, du Séran, et en partie aval



Carte 22 : Emprise spatiale du marais de Lavours



Marais de Lavours

COPIE D'UN DOCUMENT NUMÉRIQUE DE LA BANQUE D'IMAGES (18/03/2010)

2001 - BURGEAP - REHABILITATION DES GRANDS MARAIS DU HAUT-RHÔNE ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES MARAIS ET PLAINES DE LAVOURS ET DE CHAUTAGNE - Phase 1

