

ANNEXE 7 – MODELISATION HYDROGEOLOGIQUE – SECTEUR NORD DE SAINT-JORY - ANTEA GROUP – NOVEMBRE 2016 (A84487/A)

Projet d'Aménagement Ferroviaire Nord-Toulouse (AFNT)

*Modélisation hydrogéologique – secteur nord de
Saint-Jory*

A84487A-AFNT-Modélisation hydrogéologique-AC-30-11-2016	Version B -30/11/2016 – Rapport
--	---------------------------------



SNCF – PSIG SO

7 Boulevard de Marengo
31500 TOULOUSE

Présenté par



Direction Régionale Grand-Ouest

Pôle Eau

Diapason – Bâtiment B
31670 LABEGE

Tél. : 05.61.00.70.70

Fax : 05.61.00.70.41



Informations pour indexation du document

Propriété	Valeur
Titre	Modélisation hydrogéologique – secteur nord de Saint Jory
Résumé	Non prévu
Référence interne	A84487
Version	B
Date	30/11/2016
Référence externe	N/A
Type de document	Rapport
Sous-type	N/A.
Phase(s)	Etude
Etape(s)	N/A.
Activité(s)	Etudier.
Domaine(s)	Ferroviaire.
Sous-domaine(s)	Eau.
Projet(s)	402627 - AFNT.
Projet(s) (complément)	N/A
Date d'application	N/A
Fichier	
Dernière modification le	30/11/2016 15:01:00
Imprimé le	

Sommaire

	Pages
1. OBJECTIFS ET CONTEXTE GENERAL	5
2. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	7
2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE	7
2.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	7
2.2.1. Contexte local	7
2.2.2. Piézométrie.....	9
2.2.3. Fluctuations du niveau piézométrique.....	13
2.2.4. Relations entre les cours d'eau et l'aquifère alluvial	14
2.2.5. Caractéristiques hydrodynamiques des alluvions.....	17
2.2.6. Points de prélèvements	17
3. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU PROJET.....	19
4. MODELISATION HYDRODYNAMIQUE.....	21
4.1. CONSTRUCTION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE	21
4.1.1. Code de calcul.....	21
4.1.2. Conditions aux limites, maillage du modèle.....	21
4.1.3. Topographie	23
4.1.4. Substratum	24
4.1.5. Géométrie du modèle	25
4.1.6. Recharge pluviométrique	26
4.1.7. Débits prélevés dans l'aquifère alluvial	26
4.1.8. Réseau hydrographique.....	26
4.2. ETALONNAGE DU MODELE EN REGIME PERMANENT DE MOYENNES EAUX	27
4.3. SIMULATIONS – REGIME PERMANENT DE BASSES EAUX ET CHOMAGE DU CANAL LATERAL A LA GARONNE	32
4.3.1. Contexte et objectifs des simulations	32
4.3.2. Descriptif des simulations.....	32
4.3.3. Etat avant travaux – simulation n°1.....	33
4.3.4. Impacts quantitatifs des travaux – simulation n°2.....	38
4.3.5. Impacts qualitatifs des travaux - simulations n°3	43
4.3.6. Impacts qualitatifs en phase d'exploitation - simulation n°4	47
4.4. SIMULATIONS – REGIME PERMANENT DE TRES-HAUTES EAUX HORS PERIODE DE CHOMAGE DU CANAL LATERAL A LA GARONNE.....	51
4.4.1. Contexte et objectifs.....	51
4.4.2. Descriptif des simulations.....	51
4.4.3. Etat avant travaux – simulation n°5.....	52
4.4.4. Impacts quantitatifs des travaux – simulation n°6.....	55
4.4.5. Impacts qualitatifs des travaux – simulation n°7	59
4.4.6. Impacts qualitatifs en phase d'exploitation - simulation n°8	62
4.4.7. Impacts d'une pollution dans le canal latéral à la Garonne	66
5. CONCLUSION ET PRECONISATIONS.....	67
5.1. TRAJECTOIRES D'ALIMENTATION ET RECHARGE DES LACS DE LAGARDE ET DE CAPY	67
5.2. IMPACTS QUALITATIFS D'UNE EVENTUELLE POLLUTION	68
5.3. MESURES PRECONISEES	69
5.3.1. Aspect quantitatif.....	69
5.3.2. Aspect qualitatif	69
5.3.3. Préconisations particulières.....	70

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des zones sensibles et des périmètres de protection des lacs de Lagarde et de Capy	6
Figure 2 : Contexte géologique – nord de St-Jory.....	8
Figure 3 : Ecoulements en bordure de terrasses (source rapport BRGM n°55877)	9
Figure 4 : Carte piézométrique de juin 2007 (source BRGM)	11
Figure 5 : Piézométrie de mai 2016	12
Figure 6 : Variations du niveau piézométrique au droit de l'ouvrage n° 09833C0249/F entre 2004 et 2016 (source ADES)	13
Figure 7 : Observations et mesures de débit réalisées en juin 2016 sur le canal latéral à la Garonne	16
Figure 8 : Localisation des captages AEP	18
Figure 9 : Plan des aménagements au niveau de Saint-Jory.....	20
Figure 10 : Extension du modèle et conditions aux limites	22
Figure 11 : Topographie du modèle en m NGF.....	23
Figure 12 : Cotes du substratum de l'aquifère alluvial en m NGF	24
Figure 13 : Géométrie du modèle.....	25
Figure 14 : Zonage des perméabilités prises en compte dans le modèle hydrodynamique état initial	27
Figure 15 : Résultats de l'étalonnage du modèle hydrodynamique sur la base des mesures piézométriques de moyennes eaux (mai 2016)	29
Figure 16 : Carte piézométrique simulée résultant de l'étalonnage du modèle hydrodynamique.....	30
Figure 17 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – calage de modèle état hydraulique de moyennes eaux - mai 2016	31
Figure 18 : Durées maximales de pompage dans les lacs de Lagarde et Capy - simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal	34
Figure 19 : Piézométrie simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal	35
Figure 20 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal.....	36
Figure 21 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal - zoom.....	37
Figure 22 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°2 après travaux – basses eaux et chômage du canal.....	41
Figure 23 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°2 après travaux – basses eaux et chômage du canal - zoom.....	42
Figure 24 : Simulation n°3 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers.....	44
Figure 25 : Simulation n°3 - basses eaux, phase travaux, 5 j	46
Figure 26 : Simulation n°3 - basses eaux, phase travaux, 25 j	46
Figure 27 : Simulation n°4 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers.....	48
Figure 28 : Simulation n°4 - basses eaux, phase exploitation, 260 j.....	50
Figure 29 : Simulation n°4 - basses eaux, phase exploitation, 430 j.....	50
Figure 30 : Piézométrie simulation n°5 avant travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal	53
Figure 31 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°5 avant travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal.....	54
Figure 32 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°6 après travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal.....	57
Figure 33 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°6 après travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal - zoom.....	58
Figure 34 : Simulation n°7 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers.....	59
Figure 35 : Simulation n°7 - très hautes eaux, phase travaux, 85 j.....	61
Figure 36 : Simulation n°7 - très hautes eaux, phase travaux, 200 j.....	61
Figure 37 : Simulation n°8 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers.....	63
Figure 38 : Simulation n°8 - très hautes eaux, phase d'exploitation, 340 j	65
Figure 39 : Simulation n°8 - très hautes eaux, phase d'exploitation, 600 j	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Mesures piézométriques effectuées les 09 et 10 mai 2016	10
Tableau 2 : Résultats de l'étalonnage du modèle hydrodynamique sur la base des mesures piézométriques de moyennes eaux (mai 2016)	28
Tableau 3 : Détail des simulations n°1 à 4	32
Tableau 4 : Etat simulation n°1.....	33
Tableau 5 : Volumes des lacs exploitables – simulation n°1 avant travaux.....	34
Tableau 6 : Etat simulation n°2.....	38
Tableau 7 : Travaux pris en compte pour la modélisation.....	39
Tableau 8 : Profondeurs d'eau – simulation n°2 avec aménagements	40
Tableau 9 : Etat simulation n°3.....	43
Tableau 10 : Valeurs des paramètres hydrodispersifs utilisées pour les simulations.	43
Tableau 11 : Bilan de la simulation n°3 – basses eaux - phase travaux	45
Tableau 12 : Etat simulation n°4.....	47
Tableau 13 : Bilan de la simulation n°4 – basses eaux - phase d'exploitation.....	48
Tableau 14 : Détail des simulations n°5 à 8	51
Tableau 15 : Etat simulation n°5.....	52
Tableau 16 : Etat simulation n°6.....	55
Tableau 17 : Profondeurs d'eau – simulation n°6 avec aménagements	56
Tableau 18 : Etat simulation n°7.....	59
Tableau 19 : Bilan de la simulation n°7 – très hautes eaux, phase travaux.....	60
Tableau 20 : Etat simulation n°8.....	62
Tableau 21 : Bilan de la simulation n°8 – très hautes eaux, phase d'exploitation	63

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1. Résultats détaillés des mesures de débit effectuées sur le canal latéral à la Garonne en mai 2016
- Annexe 2. Résultats détaillés des mesures de débit effectuées sur le canal latéral à la Garonne en août 2016
- Annexe 3. Coupes des travaux envisagés au niveau de Saint-Jory (PK 234.000 à PK 240.700)
- Annexe 4. Paramètres de la modélisation hydrodyspersive

1. Objectifs et contexte général

En 2015, SNCF Réseau a confié à Antea Group, une étude de définition de la sensibilité du projet AFNT (Aménagements Ferroviaires au Nord de Toulouse) sur les eaux souterraines et superficielles ainsi que sur leurs usages.

En effet, le projet nécessite des travaux importants susceptibles d'engendrer un impact sur la nappe alluviale ainsi que sur les cours d'eau ou canaux proches : l'Hers et le canal latéral à la Garonne.

Une cartographie des zones sensibles a été effectuée sur l'ensemble du linéaire (rapport Antea Group – A79908/C – septembre 2015). Elle indique un secteur particulièrement sensible, situé au niveau de la commune de St-Jory (**cf. figure 1**).

En effet, dans ce secteur, le projet intercepte les périmètres de protection rapprochée et éloignée de la prise d'eau des lacs de Lagarde et Capy, utilisée pour l'alimentation en eau potable de 63 000 habitants. Il s'agit d'une ressource importante (prélèvement maximum autorisé de 35 000 m³/j) et d'intérêt majeur pour le nord Toulousain.

Ces contraintes et l'aléa important liés au projet (notamment en termes de travaux, aménagements de berges) ont conduit Antea Group à proposer une quantification des impacts via une modélisation hydrodynamique des écoulements, permettant de répondre aux objectifs suivants :

- réglementaire : vérifier les directions d'écoulement et les temps de transit dans les périmètres de protection des captages AEP et proposer des solutions en phase travaux et d'exploitation en cas de pollution accidentelle ;
- quantitatif : quantifier de quelle ressource dispose le syndicat si le prélèvement dans les plans d'eaux devait durer plus d'un mois et cela en période de basses eaux ;
- qualitatif : déterminer pour des scénarios de pollution pour deux états hydrauliques avec un polluant miscible le panache de pollution et l'évolution des concentrations. Des pollutions ponctuelles sont prévisibles en phase travaux et en phase d'exploitation de la ligne ferroviaire, même si l'accidentologie reste a priori très faible ;
- stratégique : proposer un planning compatible entre les travaux sur le canal et les prélèvements sur la ressource en eau souterraine pour l'AEP. Permettre de déterminer les débits de pompage à mettre en œuvre dans les zones de déblais et connaître la mise en charge des ouvrages souterrains.



Figure 1 : Localisation des zones sensibles et des périmètres de protection des lacs de Lagarde et de Capy

2. Contexte environnemental

2.1. Contexte géologique

D'après les cartes géologiques existantes (n°956, 983 et 984, BRGM éditions), l'ensemble du tracé du projet AFNT repose sur les alluvions quaternaires de la basse plaine de la Garonne.

Ces alluvions sont constituées de graves sableuses et présentent une épaisseur variant de moins de 5 m à plus de 10 m. Elles sont recouvertes par des argiles limoneuses ou sableuses sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 50 cm à 70 cm, puis, en surface, par 10 à 30 cm de terre végétale limoneuse. Ces deux formations représentent une épaisseur moyenne proche du mètre.

Sous ces alluvions, on rencontre le substratum molassique argilo-marneux daté du Miocène (noté g2-3, ou g3-2, sur la carte géologique). Il s'agit d'argiles de teinte ocre et de marnes légèrement gréseuses d'origine continentale, présentes sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (cf. **figure 2**).

2.2. Contexte hydrogéologique

2.2.1. Contexte local

Les alluvions de la basse plaine de la Garonne constituent un aquifère poreux et continu qui repose sur un substratum imperméable (molasses du Miocène). Cet aquifère contient une nappe libre mais qui peut être localement captive ou semi-captive en raison de la présence d'une couche sus-jacente semi-perméable à peu perméable.

Dans le secteur d'étude, les terrasses alluviales sont étagées, c'est-à-dire qu'elles reposent directement sur le substratum molassique, dont elles épousent les paliers, qui affleurent parfois mais ceux-ci sont le plus souvent dissimulés par les formations de pente (colluvions).

Les terrasses sont donc séparées entre elles par des bourrelets molassiques, ce qui se traduit par une discontinuité des écoulements. La circulation d'eau entre les terrasses peut donc s'effectuer de deux manières distinctes (cf. **figure 3**) :

- par des sources puis par ruissellement d'eau sur la molasse affleurante;
- par des écoulements diffus dans les colluvions qui recouvrent généralement la molasse en bordure de terrasse.

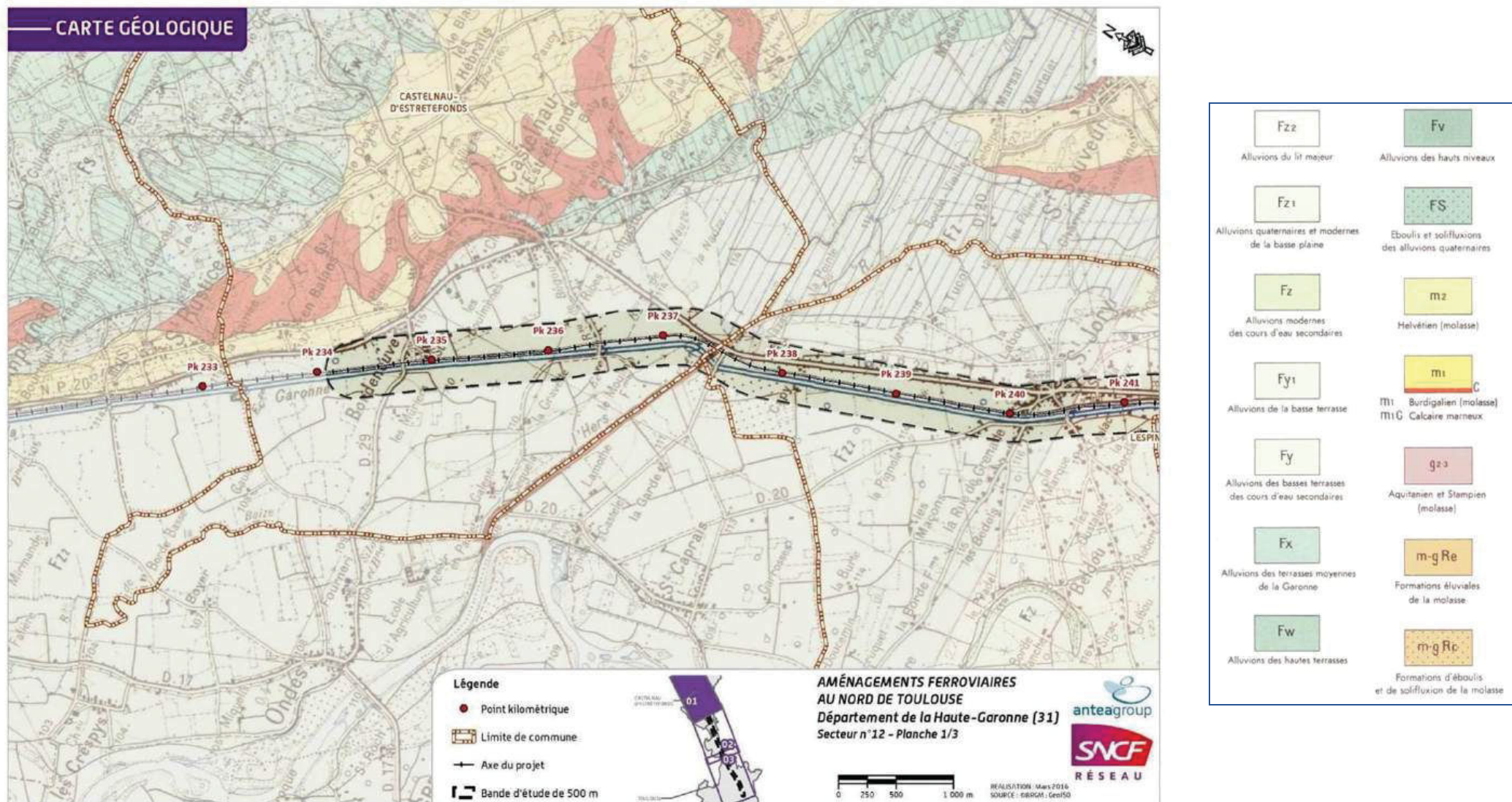


Figure 2 : Contexte géologique – nord de St-Jory

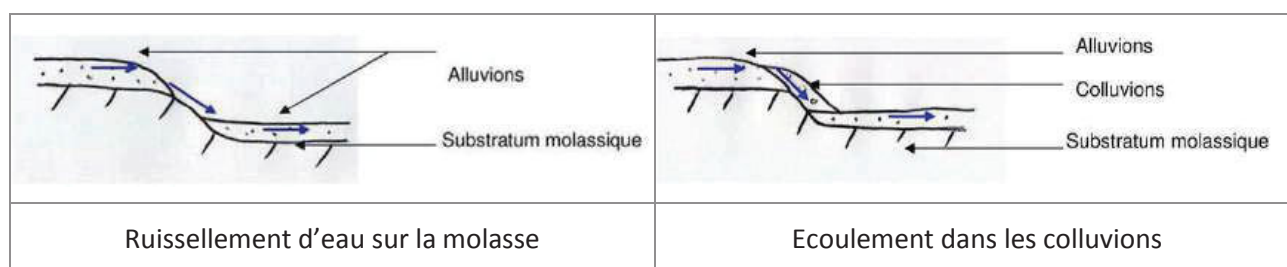


Figure 3 : Ecoulements en bordure de terrasses (source rapport BRGM n°55877)

De façon générale, la Garonne constitue un axe drainant pour l'aquifère alluvial de la basse plaine. Un palier topographique est présent entre les alluvions de la basse plaine et les alluvions du lit majeur.

2.2.2. Piézométrie

La piézométrie du secteur au nord de St-Jory est extraite d'une modélisation globale réalisée à l'échelle de la nappe alluviale de la Garonne par le BRGM en 2010 et reprise dans le rapport Antea Group A58063/A de janvier 2010. Cette piézométrie correspond à l'état hydraulique de la nappe alluviale au mois de juin 2007, considéré comme une période de moyennes eaux (**cf. figure 4**). La direction générale d'écoulement dans ce secteur est ONO-ESE.

Depuis septembre 2014, SNCF Réseau a mis en place un réseau de piézomètres afin de suivre les variations de niveau de nappe. Ces ouvrages ont été nivelés par un géomètre (précision de l'ordre du centimètre).

Afin de disposer de mesures de niveaux récentes et synchrones, une campagne piézométrique a été réalisée les 9 et 10 mai 2016 (**cf. figure 5 et tableau 1**). Les points de mesure utilisés correspondent :

- aux piézomètres mis en place par SNCF Réseau (précision du nivellement de l'ordre du centimètre) ;
- à des puits de particuliers ayant été utilisés dans le cadre d'autres études hydrogéologiques effectuées par Antea Group à proximité du projet AFNT ou bien à partir de la campagne de terrain de mai 2016. En fonction des ouvrages, le nivellement a été effectué :
 - par un géomètre (études antérieures Antea Group, précision de l'ordre du centimètre),
 - à partir d'un GPS de précision (incertitude de l'ordre de 0,5 m),
 - de la carte IGN (incertitude de l'ordre du mètre).

La piézométrie de mai 2016 correspond également à une période de moyennes eaux selon les données de l'historique du piézomètre n° 09833C0249/F. La carte piézométrique tracée indique un écoulement de direction globale sud-est – nord-ouest avec un gradient hydraulique compris entre 2 et 3 ‰.

Cette carte plus précise (cf. figure 5) permet d'identifier un drainage de la nappe par l'Hers et une alimentation par les pertes du canal latéral à la Garonne ainsi que l'influence des seuils au niveau des écluses.

Désignation	Type	X Lambert 93 CC43	Y Lambert 93 CC43	H repère (m/sol)	Z trepère (m NGF)	Précision nivellement estimée (m)	Niveau piézométrie mesuré en mai 2016 (m/rep)	Niveau piézométrique mesuré en mai 2016 (m/NGF)
Cast25	Puits	1565798.01	3176560.05	0.18	109.83	0.01	4.15	105.68
Cast19	Puits	1566471.45	3176956.54	0.07	110.82	0.01	3.64	107.18
Cast126	Puits	1567335.53	3175994.60	0.00	112.00	0.50	4.26	107.74
Puits_Maroul	Puits	1564957.47	3173932.44	0.36	110.33	0.50	3.80	106.53
Puits7_HydroE	Puits	1565429.44	3174331.35	0.54	110.55	0.50	2.03	108.52
Puits_StCaprais	Puits	1565778.45	3175105.26	0.45	112.26	0.01	3.69	108.57
Puits_MELLAC2_11HydroE	Puits	1565685.66	3173350.40	0.00	112.93	0.50	2.52	110.41
Puits12_HydroE	Puits	1566328.24	3173600.41	0.36	114.07	1.00	2.15	111.92
Puits_Arbres	Puits	1568146.79	3174470.12	0.42	114.86	0.01	2.50	112.36
Puits_Serre	Puits	1568057.50	3173204.49	1.07	117.21	0.01	3.87	113.34
Puits_Compteur	Puits	1568792.20	3173575.72	0.42	116.10	0.01	2.68	113.42
Piezo_Edluse	Piezometre	1567674.12	3175617.29	0.00	114.00	1.00	6.92	107.08
Puits_Garosse2	Puits	1565687.81	3173861.75	0.55	112.55	1.00	2.68	109.87
Puits_Cast20bis	Puits	1566124.00	3177088.94	0.59	110.59	1.00	4.33	106.26
CA_NEW_01_OT	Piezomètre	1566286.66	3177925.61	0.72	113.04	0.01	6.46	106.58
CA1_200_OH	Piezomètre	1566324.88	3177869.55	0.50	112.88	0.01	6.28	106.60
CA1_300_OA	Piezomètre	1566383.71	3177784.63	0.83	113.18	0.01	6.44	106.74
CA1_002_OT	Piezomètre	1566601.15	3177432.60	0.55	112.38	0.01	5.19	107.19
LGV7_OA	Piezomètre	1567622.46	3175414.94	0.62	112.00	0.01	4.16	107.84
LGV21_OA	Piezomètre	1567724.33	3175197.41	0.78	115.14	0.01	4.97	110.17
LGV25_OA	Piezomètre	1567728.05	3175139.33	0.53	114.84	0.01	4.27	110.57
LGV13_OA	Piezomètre	1567697.53	3175357.09	0.62	114.97	0.01	4.32	110.65
CA1_NEW_15_OA	Piezomètre	1567867.88	3174732.26	0.75	113.95	0.01	2.69	111.26
CA1_208_OH	Piezomètre	1567909.47	3174556.08	0.68	114.04	0.01	2.31	111.73
CA1_310_OA	Piezomètre	1567944.46	3174440.35	0.71	114.74	0.01	2.80	111.94
CA1_009_OT	Piezomètre	1568238.42	3173449.25	0.66	115.81	0.01	2.60	113.21
CA1_210_OA	Piezomètre	1568357.86	3172965.67	0.84	118.30	0.01	4.36	113.94
CA_NEW_19_OA	Piezomètre	1568375.92	3172909.02	0.83	118.34	0.01	4.36	113.98
CA1_212_OH	Piezomètre	1568466.84	3172706.05	0.70	118.35	0.01	4.20	114.15
CA_NEW_21_OA	Piezomètre	1568447.95	3172744.41	0.77	118.52	0.01	4.24	114.28
TC2_001	Piezomètre	1568585.15	3172559.20	0.44	117.35	0.01	2.78	114.57
CA2_300	Piezomètre	1568650.16	3172475.99	0.49	119.02	0.01	4.36	114.66
CA2_302	Piezomètre	1568653.85	3172442.81	0.00	123.69	0.01	7.92	115.77
T032	PUITS	1565719.73	3177713.14	0.20	110.50	0.50	4.55	105.95
T031	PUITS	1566016.21	3177627.88	0.75	111.57	0.50	4.39	107.18
T012	PUITS	1567890.78	3174201.29	0.00	114.86	0.50	2.70	112.16
Puits_Majoural	Puits	1567070.82	3170858.01	0.26	116.76	1.00	3.50	113.26
Puits_Bedelsi	Puits	1567543.04	3172368.85	0.43	116.43	1.00	3.03	113.40
Puits_Jalvin	Puits	1567651.08	3171413.31	0.17	117.17	1.00	2.50	114.67
Puits_Lac_ST_Jory	Puits	1569104.30	3172741.60	0.47	118.47	1.00	2.97	115.50

Tableau 1 : Mesures piézométriques effectuées les 09 et 10 mai 2016

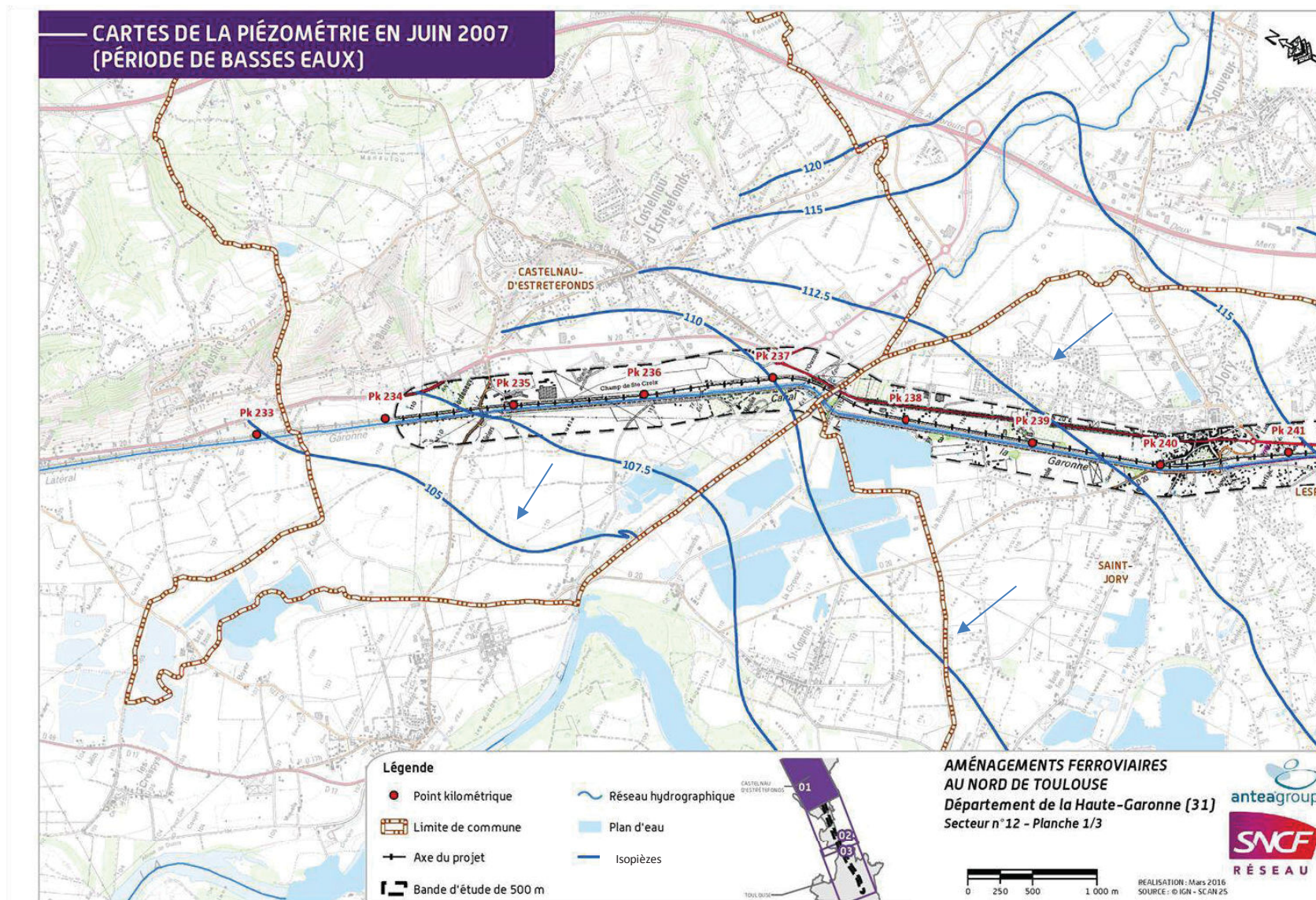


Figure 4 : Carte piézométrique de juin 2007 (source BRGM)

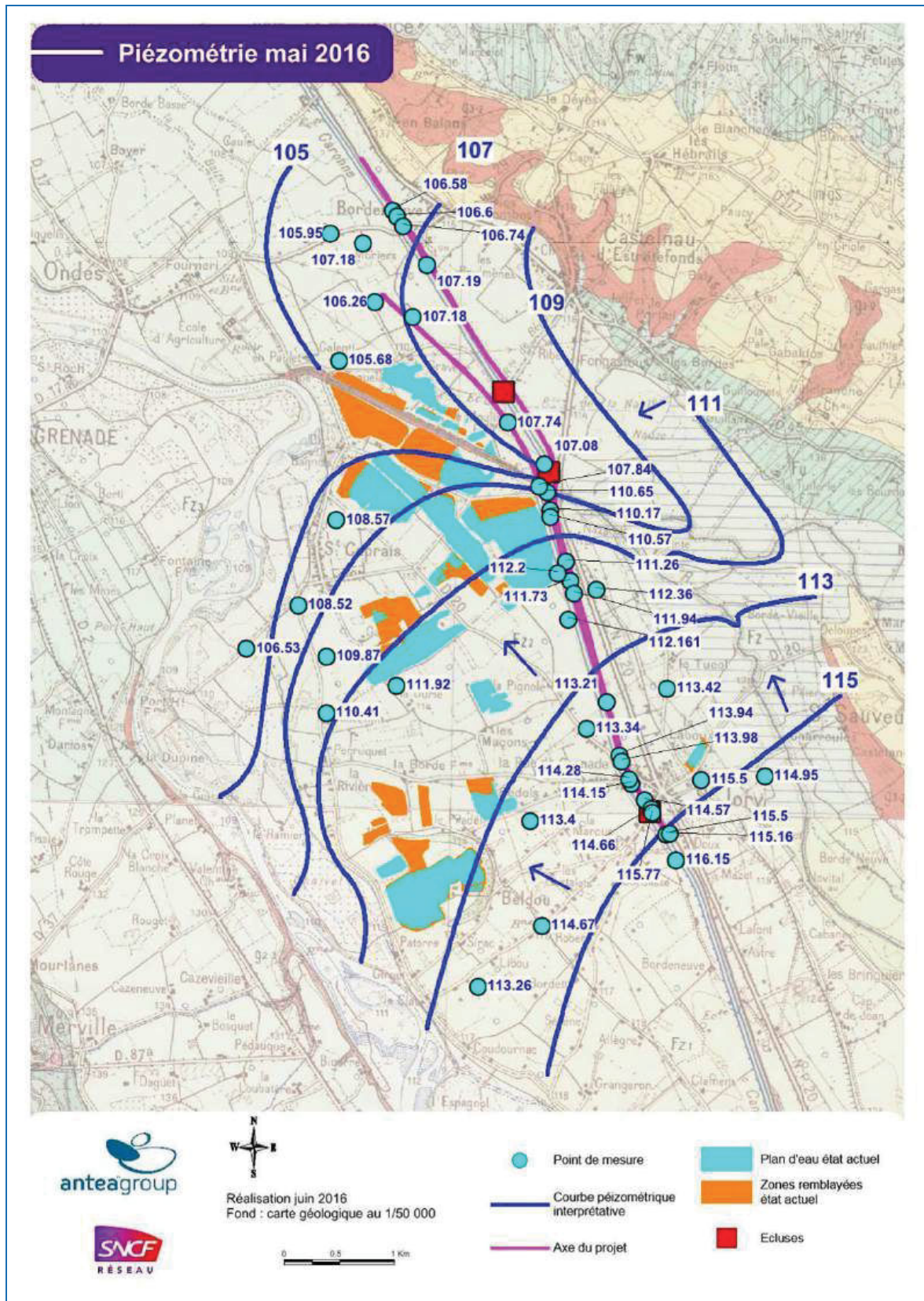


Figure 5 : Piézométrie de mai 2016

2.2.3. Fluctuations du niveau piézométrique

Afin de déterminer les fluctuations de la nappe dans le temps, la banque de données ADES a été consultée. Le suivi effectué par SNCF Réseau sur ce secteur n'a pas été utilisé car la chronique piézométrique est pour le moment trop courte (quelques mois seulement).

Ainsi, un captage qui capte les alluvions de la basse et moyenne terrasse de la Garonne est répertorié sur la commune de Daux en rive gauche de la Garonne, à 10 km au sud-ouest de Saint-Jory, cet ouvrage est distant mais c'est l'ouvrage représentatif des variations de niveau de ces alluvions le plus proche. Cet ouvrage est profond de 8 m et est référencé en BSS sous le n°09833C0249/F. Le suivi piézométrique met en évidence, les points suivants :

- le niveau moyen se situe aux alentours de 173,5 m NGF soit à environ 6,5 m/sol ;
- les plus hautes eaux mesurées (événements exceptionnels de fréquence décennale) se situent à environ 1,0 m au-dessus des moyennes eaux ;
- les plus basses eaux mesurées se situent à environ 0,7 m sous les moyennes eaux ;
- les fluctuations piézométriques maximales enregistrées sont égales à 1,5 m ;
- la campagne piézométrique de mai 2016 correspond à un état de moyennes eaux ainsi que celle de juin 2007.

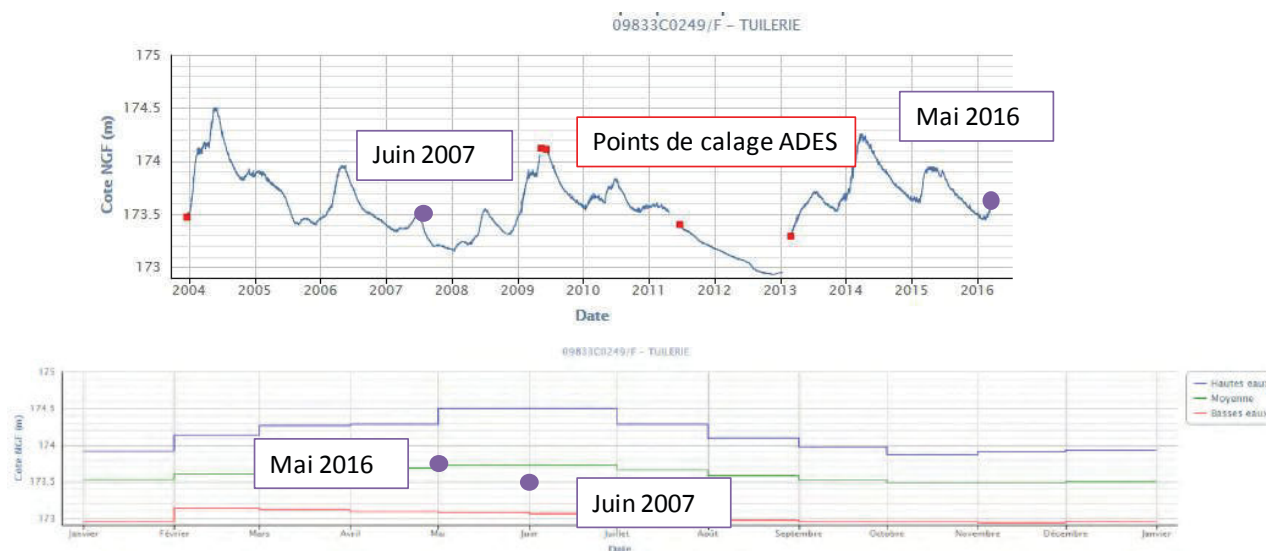


Figure 6 : Variations du niveau piézométrique au droit de l'ouvrage n° 09833C0249/F entre 2004 et 2016 (source ADES)

2.2.4. Relations entre les cours d'eau et l'aquifère alluvial

Les principaux cours d'eau présents sur le secteur d'étude sont la Garonne, l'Hers mort et le canal latéral à la Garonne. D'autres petits cours d'eau comme la Nauze, le ruisseau du Bégou ou le ruisseau de la Cannette sont aussi présents.

La Garonne

Le tracé du projet se situe en rive droite de la Garonne à une distance qui varie entre 2 km et 3 km au niveau de Saint-Jory.

Le régime hydraulique de la Garonne à Saint-Jory est de type pluvio-nival avec des hautes eaux en avril, mai et juin suite à la fonte des neiges et des basses eaux durant les mois d'août, septembre et octobre.

De façon générale, la Garonne constitue un axe drainant pour l'aquifère alluvial de la basse plaine.

L'Hers mort

L'Hers mort traverse le projet AFNT et se jette ensuite dans la Garonne au niveau de la commune d'Ondes (à moins de 2 km à l'ouest du PK 236.000).

L'Hers est un fossé canal qui draine un bassin versant de 1 360 km². La pente longitudinale est forte et atteint 2,5 % sur ses deux derniers kilomètres. Le lit de la rivière a été calibré dans les années 1990 pour assurer l'évacuation d'une crue trentennale (104 m³/s). Son encaissement est de 5 à 7 m par rapport au terrain naturel.

Comme la Garonne, l'Hers constitue un axe drainant pour l'aquifère alluvial. Son encaissement dans le substratum molassique peut, après son passage sous le canal latéral à la Garonne, former une discontinuité hydraulique vis-à-vis de la nappe.

Le canal latéral à la Garonne

- Caractéristiques générales

Le canal latéral à la Garonne est un canal reliant Toulouse à Bordeaux. Il constitue le prolongement du canal du Midi qui rejoint la Méditerranée à Toulouse. Il est lié au Tarn, à la Baïse, à la Garonne ainsi qu'au Lot.

Au niveau de Saint-Jory, le canal s'écoule entre deux digues de 2 à 3 m de hauteur. L'étanchéité des berges et du fond est assurée par une couche d'argile mise en place lors de sa création (source information : Voies Navigables de France (VNF)).

Le canal latéral à la Garonne est annuellement entretenu par une vidange complète des eaux entre deux écluses. Seuls quelques tronçons sont totalement vidangés. Cette phase de chômage dure 8 semaines par an, généralement au cours des mois d'hiver.

Le canal a une profondeur maximum de 2,9 m et une largeur de 20,5 m. Le niveau d'eau dans le canal est de 117,3 m NGF au niveau de Saint-Caprais et son fond est à 114,8 m NGF, soit un peu plus de 2 m au-dessus de la nappe alluviale.

Sur certains secteurs, la berge est protégée contre l'érosion par une digue verticale équipée de pieux en bois, de palplanches et de géotextile assurant aussi l'étanchéité. Cependant depuis la mise en place du canal, les dégradations naturelles (érosion, développements racinaires, usure des palplanches anciennes...), et anthropiques (prise d'eau, battillage, animaux fouisseurs...) des berges ont peu à peu endommagé ces dernières, entraînant ainsi des fuites d'eau et en conséquence une recharge artificielle de la nappe.

- Inspection visuelle

Afin d'évaluer l'importance de ces débits de fuite, une inspection visuelle de l'état des berges a été effectuée en mai 2016 en rive gauche du canal entre les pk 240 et 239. Il ressort de cette inspection que les équipements des berges sont hétérogènes. Certaines berges sont en béton (à proximité des écluses), d'autres équipées de palplanches métalliques ou de palplanches bois. Sur certains tronçons, les berges sont à l'état naturel (couche d'argile ancienne). Aucune fuite notable n'est visible en surface au moment de l'inspection.

- Mesures de débit - Doppler

En complément, une campagne de 4 jaugeages a été réalisée en juin 2016 avec un profileur acoustique de courant à effet DOPPLER entre les PK 234.450 et 241.700. Les résultats détaillés sont présentés en **annexe 1**. En parallèle, les débits de dérivation de la prise d'eau pour l'eau potable du canal latéral à la Garonne ont été collectés auprès du Syndicat de la Vallée de la Save et des coteaux de Cadours et pris en compte dans l'estimation des débits du canal. Les résultats obtenus (**cf. figure 7**) indiquent des débits de fuite compris entre 0,1 et 0,15 m³/s (360 à 540 m³/h) selon les tronçons mesurés (de 1,8 à 3,2 km de linéaire), le débit de fuite est de l'ordre 0,1 à 0,2 m³/h/ml.

Dans le but de confirmer ces débits de fuite, une seconde campagne de jaugeage a été effectuée fin août 2016. Pendant les mesures, des fluctuations de débit du canal se sont produites dues à une augmentation du débit d'écoulement et au passage de bateaux entraînant des manœuvres d'écluses. Elles n'ont pas permis d'obtenir des résultats pertinents (**annexe 2**). Elle n'ont donc pas été prises en compte pour l'estimations des débits de fuite.

- Estimation par formule analytique

Une vérification analytique des débits de fuite a été effectuée à partir de la formule de Matsuo, pour obtenir des débits équivalents aux mesures de terrain. Il est alors nécessaire de prendre en compte une perméabilité du fond et des berges de 3 à 4.10⁻⁶ m/s ce qui ne correspond pas à la perméabilité d'un niveau argileux (plutôt de l'ordre de 10⁻⁸ à 10⁻⁹ m/s). Toutefois, ce niveau argileux est ancien et dégradé (racines ...), ainsi pour les débits mesurés, les perméabilités de berges calculées par la formule analytique sont cohérentes avec le milieu rencontré.

A noter que l'étude Hydratec n°22486 – décembre 2007 confirme également des fuites sur ce tronçon.

Les autres cours d'eau présents correspondent à de petits ruisseaux de type talweg. Ces derniers sont en situation perchée par rapport à la nappe alluviale et servent essentiellement à évacuer les eaux pluviales. Il n'existe que peu de lien hydraulique avec l'aquifère alluvial.

Plans d'eau

De nombreux plans d'eau sont aussi présents dans le secteur de Saint-Jory. Il s'agit d'anciennes exploitations de granulats réalisées sous le niveau piézométrique, dans la plupart des cas jusqu'au substratum molassique puis laissées à l'état de plans d'eau. Ces anciennes gravières sont souvent associées à des zones remblayées. La délimitation des plans d'eau et des zones remblayées a été effectuée à partir de l'analyse des photographies aériennes de 1948 à nos jours (données Géoportail et Google Earth) (cf. figure 7).

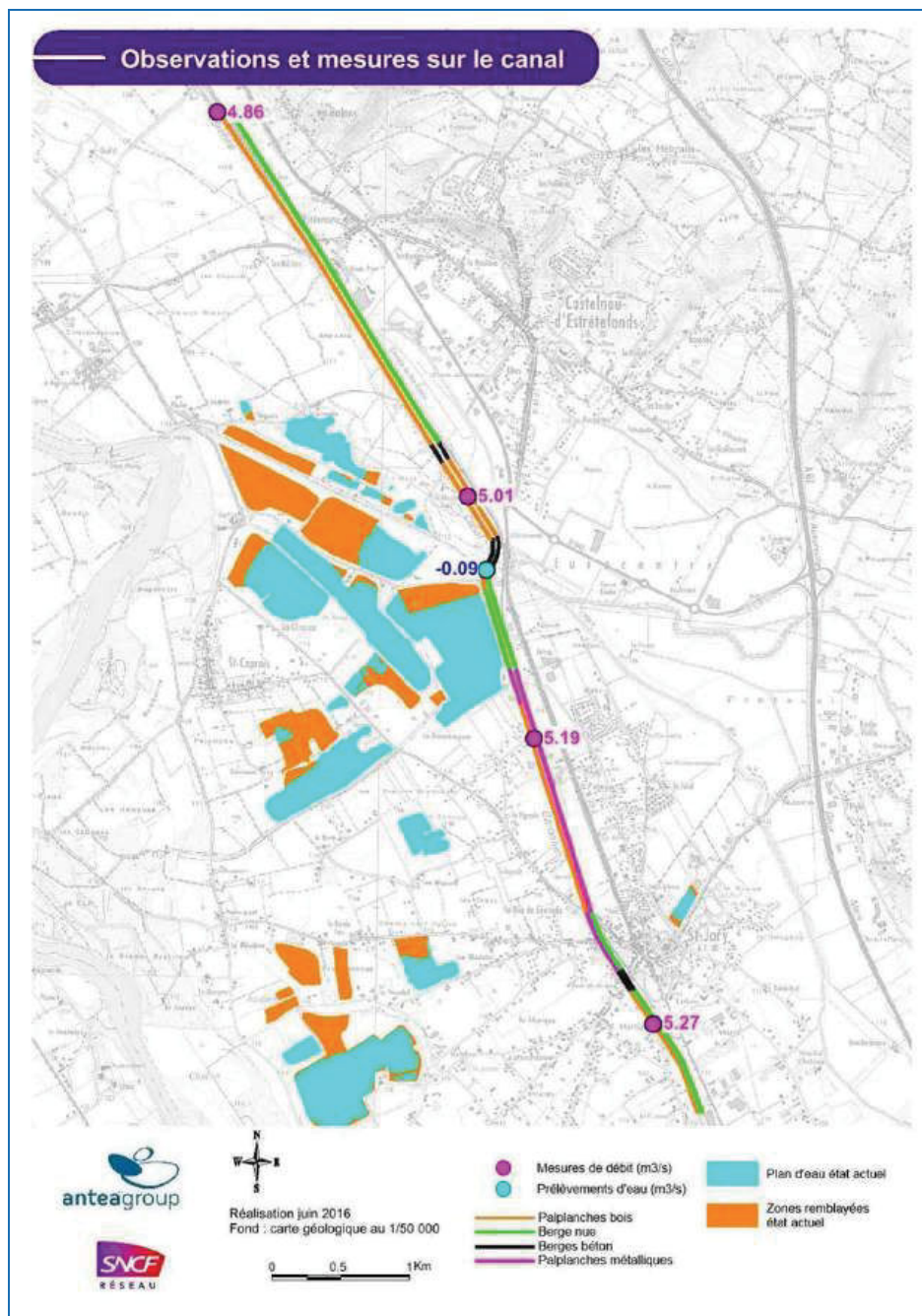


Figure 7 : Observations et mesures de débit réalisées en juin 2016 sur le canal latéral à la Garonne

2.2.5. Caractéristiques hydrodynamiques des alluvions

Les perméabilités des alluvions de la basse plaine dans le secteur de Saint-Jory sont comprises entre 1.10^{-2} et 1.10^{-3} m/s et les coefficients d'emménagement compris entre 5 et 10 %. Ces données sont issues du site internet SIGES et de la bibliographie au travers des études du BRGM et d'Antea Group (pompages d'essais).

2.2.6. Points de prélèvements

A proximité du secteur d'étude, deux captages pour l'alimentation en eau potable sont présents :

Prise d'eau sur le canal latéral de Saint-Jory

Le périmètre de protection rapprochée de cette prise d'eau sur le canal latéral à la Garonne concerne les rives droite et gauche du canal.

Le périmètre de protection éloignée (ou zone sensible) de la prise d'eau du canal correspond à la surface du miroir d'eau du canal entre les PK 237.355 et 249.380 et concerne les communes riveraines du canal entre Toulouse et la prise d'eau : Grenade-sur-Garonne, Saint-Jory, Lespinasse, Fenouillet, Saint-Alban et Aucamville (arrêté du 4 octobre 2002).

Il est à noter que le projet de ligne à grande vitesse (LGV) traverse le canal latéral en passage supérieur à moins d'une cinquantaine de mètres en aval de la prise d'eau sur le canal et du périmètre de protection immédiate. Ce passage constitue donc un point sensible vis-à-vis de la préservation de la qualité de l'eau du canal et de la prise d'eau.

Prise d'eau des lacs de Lagarde-Capy

Dans ce secteur, le projet intercepte également les périmètres de protection rapprochée et éloignée (ou zone sensible) de la prise d'eau des lacs de Lagarde et Capy. Il s'agit d'une ressource importante (prélèvement maximum autorisé de $35\,000\text{ m}^3/\text{j}$) et d'intérêt majeur pour l'AEP sur le nord Toulousain. Cette ressource, d'origine superficielle et souterraine, est utilisée en période de chômage du canal (de l'ordre de 2 mois en période hivernale).

Autres points de prélèvements

De nombreux points de prélèvements agricoles sont aussi recensés dans la base de données de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne mais ils ne sont cependant pas géoréférencés.

Des puits privés sont présents dans les alluvions de la basse plaine mais ne sont pas tous répertoriés en B.S.S. (banque de données du sous-sol)

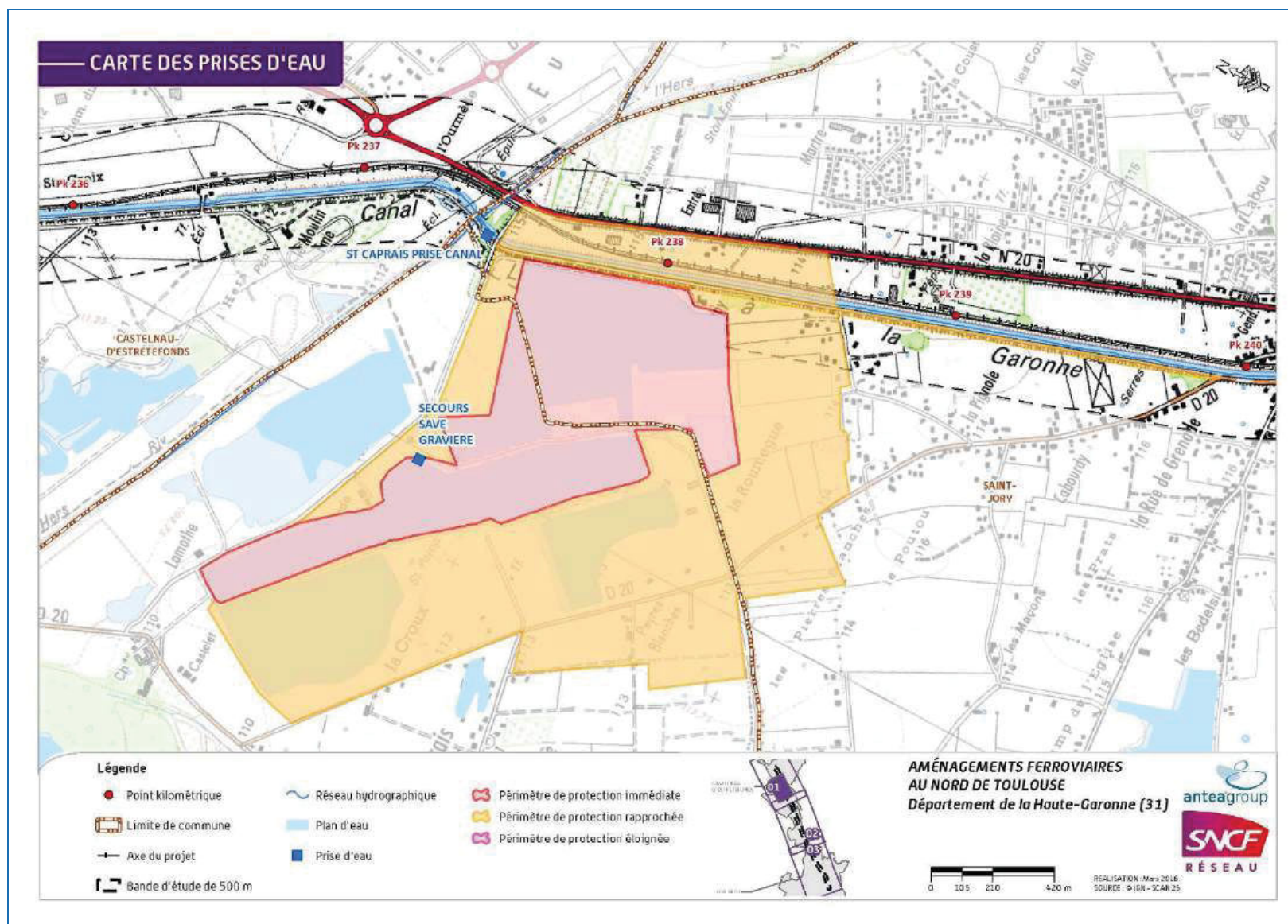


Figure 8 : Localisation des captages AEP

3. Principales caractéristiques du projet

Le projet AFNT va entraîner des modifications sur la voie SNCF actuelle avec une amélioration des capacités des infrastructures ferroviaires sur cet axe et la mise à 4 voies de la ligne existante.

Les aménagements concernent un linéaire de 19 km de ligne existante (allant du PK 234.0 au PK 255.0), aujourd'hui à deux et trois voies. Ce projet s'étend sur 5 communes : Toulouse, Fenouillet, Lespinasse, Saint-Jory et Castelnau d'Estrétefonds.

Ces aménagements vont nécessiter des modifications et des créations d'ouvrages dont :

- la berge est du canal latéral à la Garonne ;
- certains ouvrages de franchissement (type pont-route ou pont-rail) de voies routières ou de cours d'eau ;
- certains ouvrages d'art spécifiques ;
- les voies ferroviaires actuelles et nouvelles ;
- des haltes (création de passerelles, etc...).

Plus spécifiquement, parmi les travaux prévus, on peut noter :

- les terrassements et déblais plus ou moins importants pour l'ajout de voies ferroviaires nouvelles ;
- la mise en place de blindages provisoires et de murs de soutènement enterrés susceptibles de perturber les écoulements de la nappe.
- des bassins de rétention et d'infiltration ;
- la création de passages souterrains (aqueduc sous canal ou passage pour piétons sous les voies) ou d'ouvrages d'art.

Au niveau de Saint-Jory (cf. **figure 9**) :

- la profondeur maximale atteinte par les zones de drainage des déblais ainsi que des blindages est de 2,5 m/sol ;
- deux bassins de rétention sont présents au niveau des PK 237.570 et 240.340. Les cotes de fonds de ces bassins sont situées respectivement à environ 2,6 m et 1 m au-dessus du substratum molassique. Le fond et les bordures des bassins seront étanchéifiés ;
- des palplanches atteignant 5 à 7 m de profondeur situées en rive droite du canal sont prévues afin d'assurer le soutènement des berges, entre les PK 239.940 et 240.100 ;
- un ouvrage d'art est prévu au-dessus du canal avec un passage en remblais et un aménagement d'un passage souterrain au niveau du PK 238.3. La cote du fond du passage souterrain est de 106,9 m NGF, soit à une profondeur de l'ordre de 7,5 m/sol c'est-à-dire environ 1 m au-dessus de la cote de substratum molassique estimé.

Les coupes détaillées des travaux envisagés au niveau de Saint-Jory (PK 234.0 à PK 240.7) sont présentées en **annexe 3**.

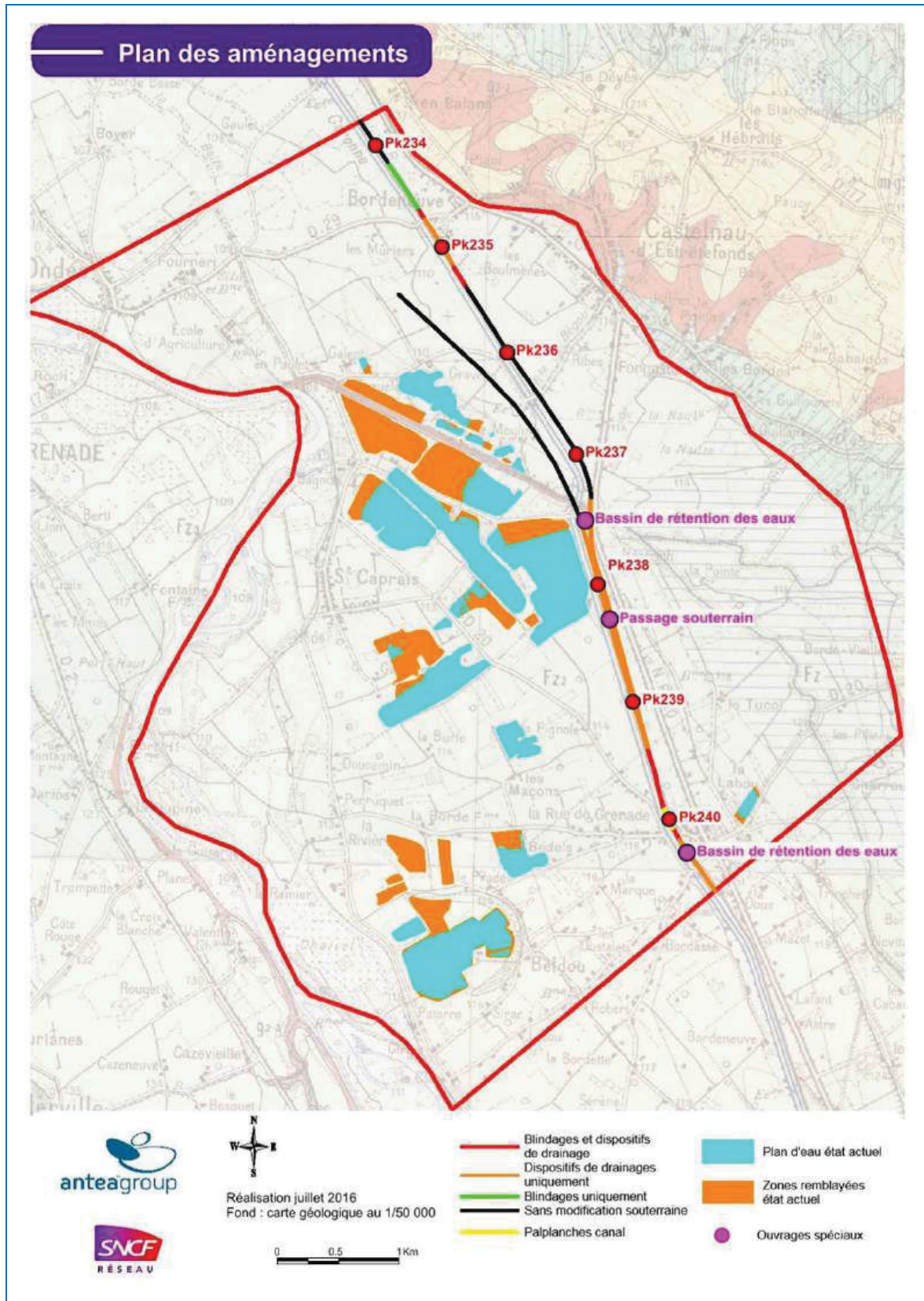


Figure 9 : Plan des aménagements au niveau de Saint-Jory

4. Modélisation hydrodynamique

4.1. Construction du modèle hydrodynamique

4.1.1. Code de calcul

Le logiciel MARTHE (Modélisation d'Aquifère par un maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements), est utilisé dans le cadre de la présente étude.

Ce code de calcul aux différences finies, développé au sein du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), permet de réaliser des calculs hydrodynamiques et de transport hydro-dispersif en régime permanent ou transitoire. Il utilise un maillage de type écossais (colonnes et lignes de largeurs variables), monocouche (en plan ou en coupe verticale), multicouche ou 3D, avec possibilité de maillages gigognes pour une représentation précise des géométries.

Dans le logiciel MARTHE, la plupart des paramètres sont spatialisés, c'est-à-dire qu'ils sont définis maille par maille ou en zones homogènes de mailles, contiguës ou non. Sont notamment traités de cette manière les perméabilités, coefficients d'emmagasinement, débits pompés et injectés, recharge pluviale, etc.

Le logiciel MARTHE est donc bien adapté à l'étude du projet AFNT, sur l'extension de la zone du secteur nord de Saint-Jory

4.1.2. Conditions aux limites, maillage du modèle et régime de calcul

Les limites du modèle, suffisamment éloignées du projet sont les suivantes (cf. figure 10) :

- au nord une limite à flux imposé ;
- au sud une limite à flux imposé ;
- à l'est une limite à flux nul correspondant à la limite du coteau molassique;
- à l'ouest, une limite de débordement correspondant à la Garonne dont le fil d'eau a été extrapolé à partir de la topographie de l'IGN (Institut Géographique National) au 1/25 000, selon une précision estimée à ± 1 mètre.

Le modèle couvre ici une superficie de 31,3 km². Il est constitué d'une matrice monocouche de 941 378 mailles de calcul.

Le maillage, de type « tissu écossais », comporte des mailles de 10 x 10 m.

Les calculs sont effectués en régime permanent.

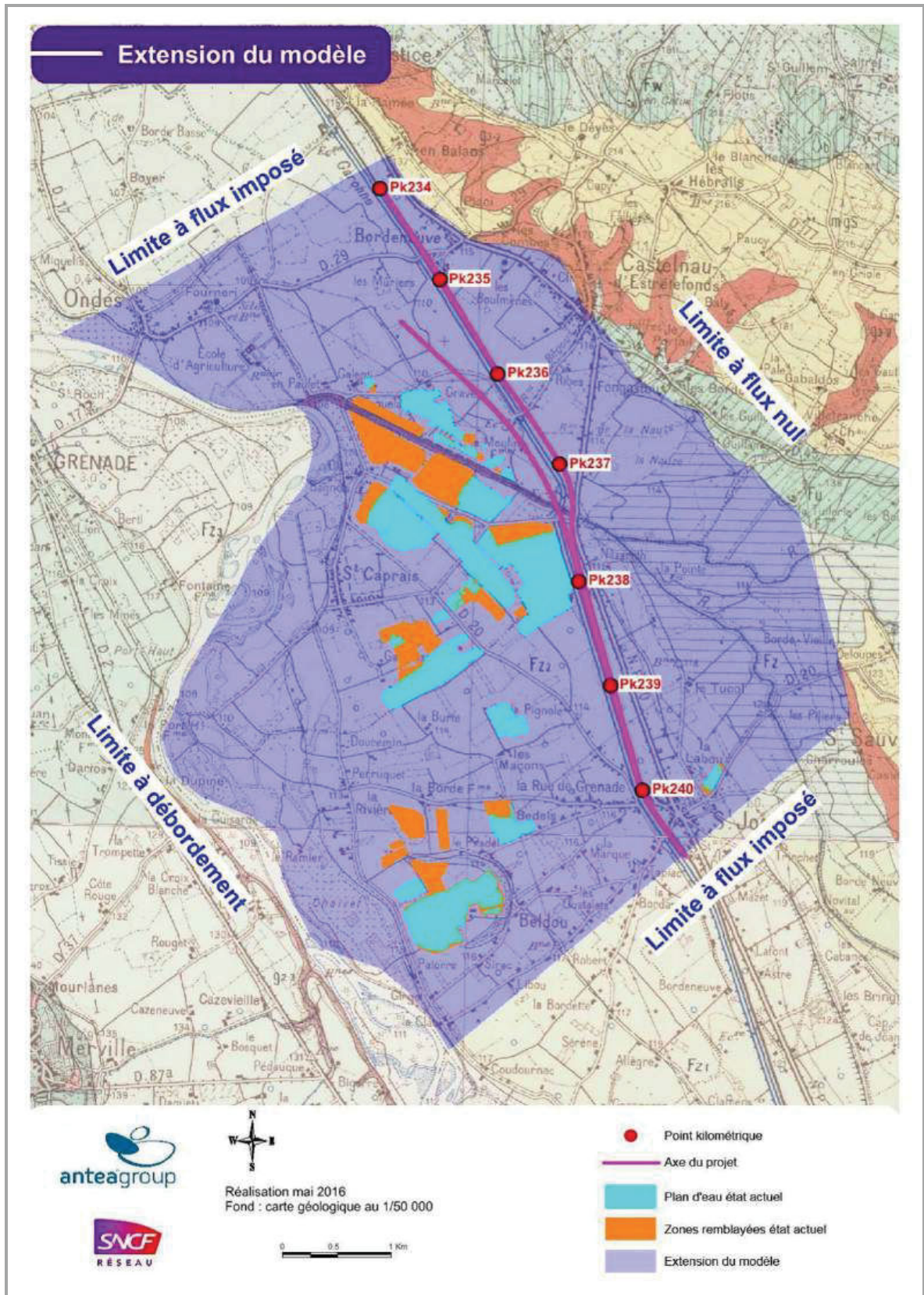


Figure 10 : Extension du modèle et conditions aux limites

4.1.3. Topographie

La topographie induite dans le modèle est issue d'un modèle numérique de terrain (IGN) au pas de 75 x 75 m selon une précision estimée à 1 m.

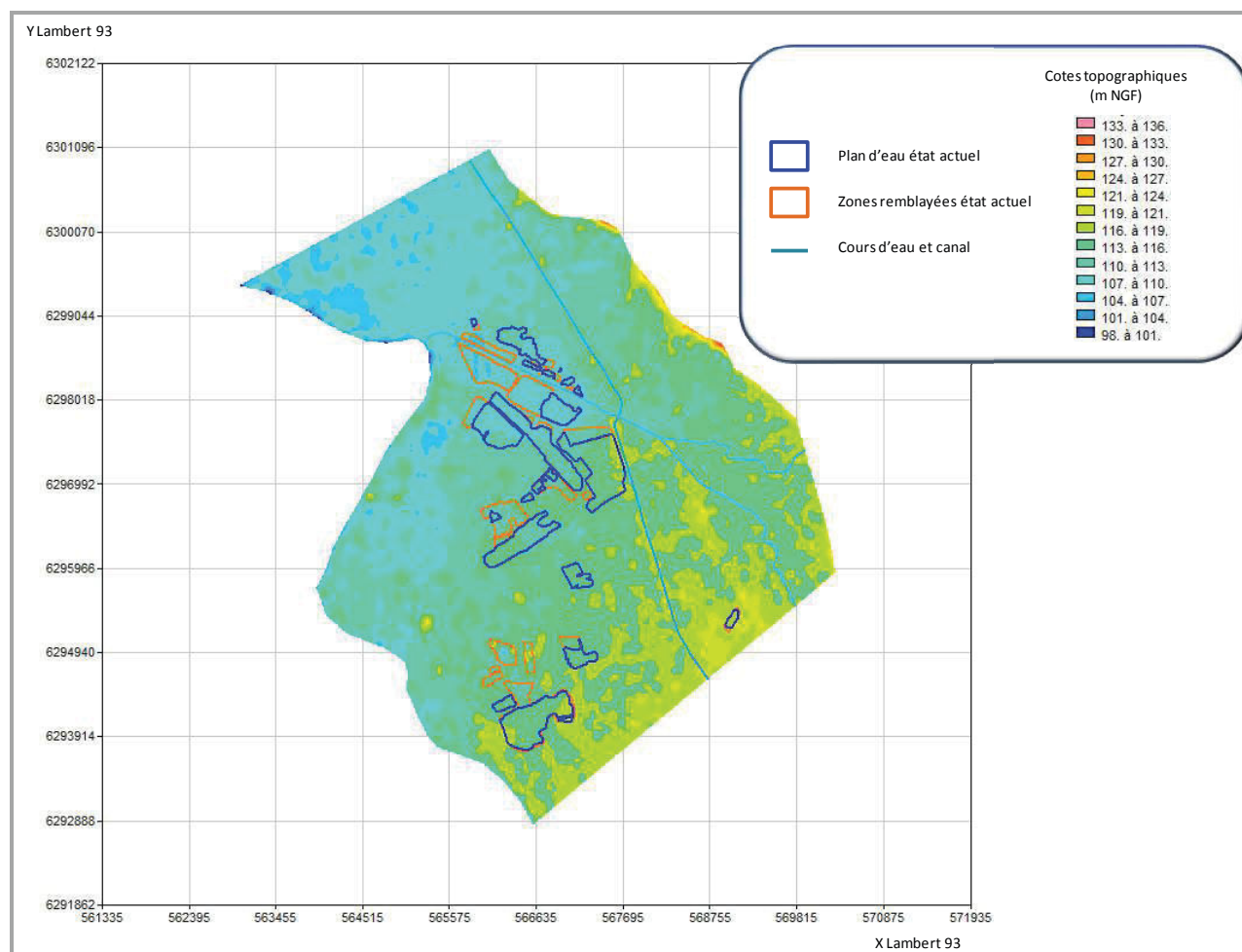


Figure 11 : Topographie du modèle en m NGF

4.1.4. Substratum

La formation molassique sous-jacente est ici considérée comme imperméable et constitue le substratum de l'aquifère alluvial. La cote du substratum a été déterminée à partir :

- des études géophysique et des données de sondages au niveau de la zone d'exploitation des gravières de Lagarde et de Capy ;
- des coupes géologiques des ouvrages recensés dans la banque de données du sous-sol (BSS) du BRGM (14 ouvrages dans l'emprise du modèle disposent d'une coupe géologique dont 8 recoupant les alluvions jusqu'au substratum molassique) ;
- des coupes géologiques des piézomètres et sondages ayant été réalisés dans le cadre du projet AFNT (17 ouvrages recoupent les alluvions jusqu'au substratum molassique) ;
- à partir des données précédentes, de l'hypothèse d'une pente SE-NO régulière avec un gradient de l'ordre de 3 ‰.

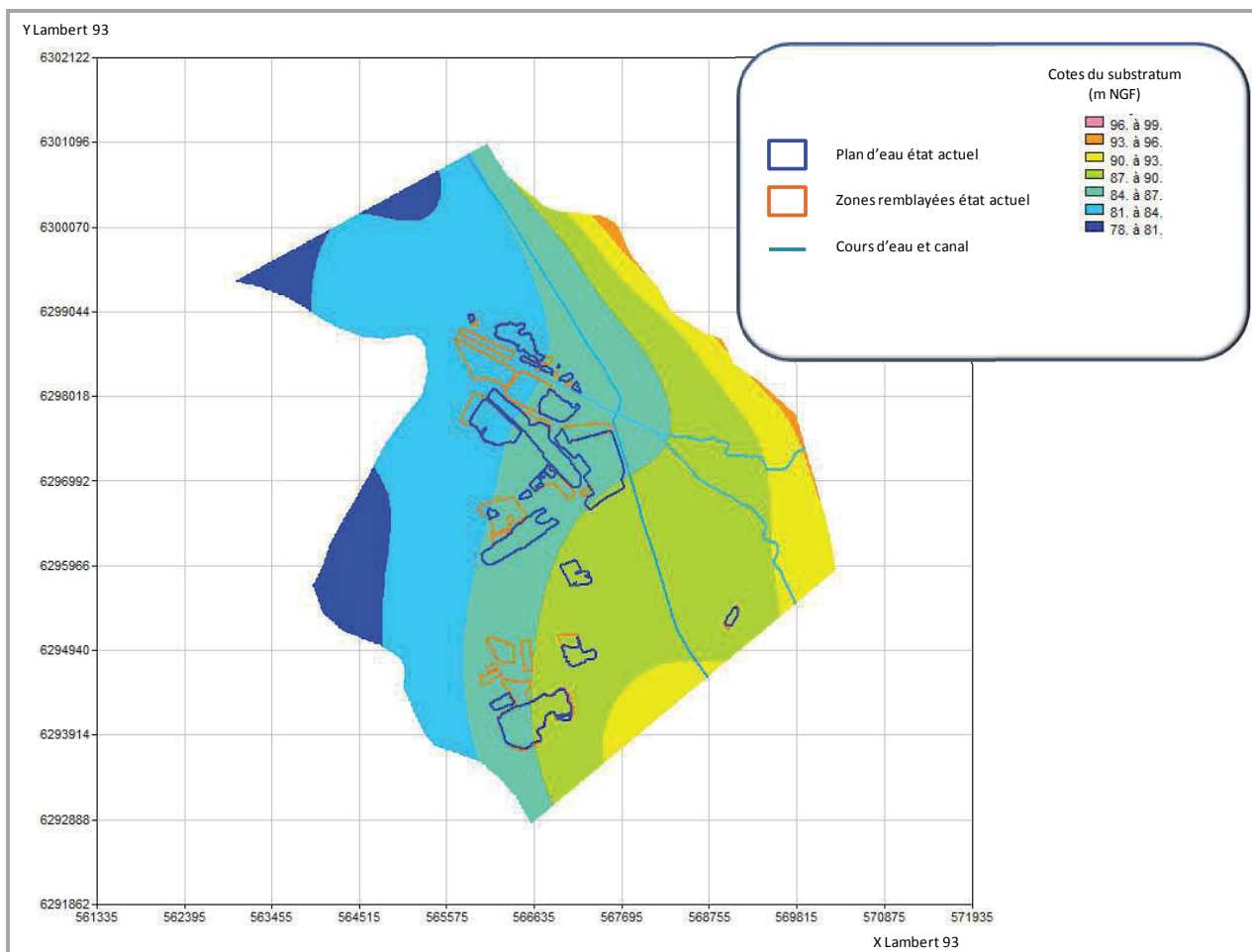


Figure 12 : Cotes du substratum de l'aquifère alluvial en m NGF

4.1.5. Géométrie du modèle

La conception du modèle prend en compte la géométrie des alluvions et du canal latéral à la Garonne ainsi que la profondeur des travaux. Ainsi, 3 couches sont mises en place pour la création du modèle :

- couche n°1 qui correspond aux alluvions de la basse plaine de la Garonne sur une épaisseur de 2,5 m. Cette couche a été introduite pour le besoin des simulations et correspond à la cote maximale atteinte par les blindages de palplanches et les murs de soutènement ;
- couche n°2 qui correspond aux alluvions de la basse plaine de la Garonne sur une épaisseur allant de 2,5 m jusqu'à la cote du substratum molassique ;
- couche n°3 correspondant au substratum molassique sur une épaisseur arbitraire de 20 m.

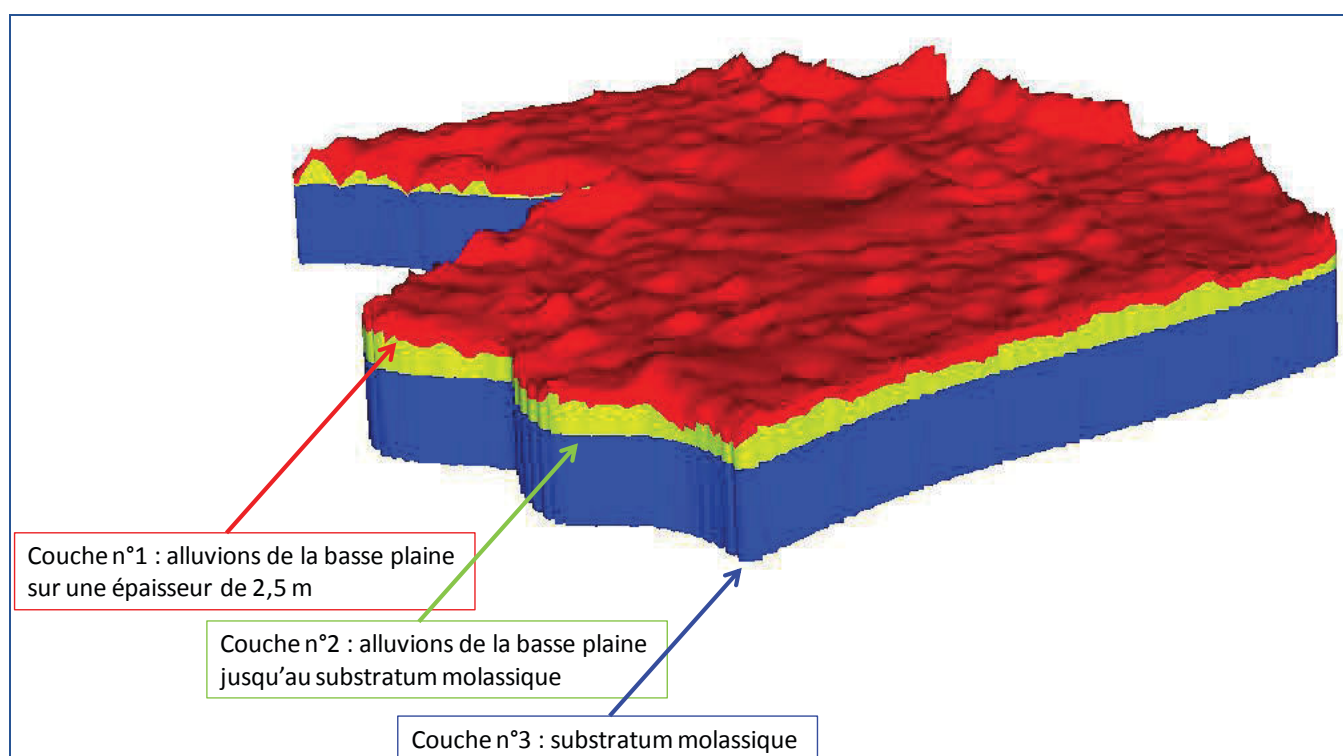


Figure 13 : Géométrie du modèle

4.1.6. Recharge pluviométrique

La carte des pluies efficaces moyennes de Météo France sur une période de 30 ans (1981-2010) présente une valeur de l'ordre de 120 mm/an au niveau du site d'étude. Le calage du modèle ayant été effectué à partir de la piézométrie de mai 2016 (période de moyennes eaux). La recharge pluviométrique annuelle prise en compte pour l'élaboration du modèle en régime permanent est de 120 mm/an.

4.1.7. Débits prélevés dans l'aquifère alluvial

Le prélèvement sur la prise d'eau des plans d'eau de Lagarde et de Capy s'effectue dans l'aquifère alluvial. Cependant, il intervient uniquement en période de chômage du canal soit sur une courte durée (1 à 2 mois) et il n'est donc pas pris en compte dans le cadre d'un régime permanent.

Les ouvrages agricoles pour lesquels des données de prélèvement sont disponibles ne sont pas géoréférencés. De plus, le calage du modèle est effectué à partir des données piézométriques de mai 2016, c'est-à-dire en dehors de la période des prélèvements agricoles. Ainsi, aucun prélèvement n'a été intégré au modèle.

Le prélèvement pour l'AEP dans le canal latéral de la Garonne est un prélèvement en eau superficielle et n'est donc pas pris en compte.

4.1.8. Réseau hydrographique

La Garonne se situe en limite ouest du modèle et est affectée d'une cote de débordement associée à une cote de drainage issue de la cartographie de l'IGN au 1/25 000 selon une précision estimée à ± 1 m.

L'Hers mort constitue un axe de drainage de la nappe alluviale. Il est affecté d'une cote de débordement dont la valeur a été déterminée, en l'absence de profils topographiques, à partir de mesures effectuées au décamètre au niveau de plusieurs ponts selon une précision estimée à ± 1 m en l'absence de profils topographiques.

Le canal latéral contribue de manière importante à l'alimentation de la nappe alluviale à partir de pertes diffuses. La répartition des zones de pertes et l'attribution des valeurs des débits de fuite ont été effectuées à partir des observations des berges et des mesures de débits effectuées en mai 2016 (cf. paragraphe 2.2.4). Les débits d'infiltration ont ensuite été répartis, par tronçons, dans le modèle. Ces derniers sont compris entre 0,1 et 0,2 m³/h/ml.

4.2. Etalonnage du modèle en régime permanent de moyennes eaux

L'état piézométrique retenu pour l'étalonnage du modèle hydrodynamique est celui résultant des mesures piézométriques effectuées en mai 2016. Il s'agit en effet de la campagne piézométrique disposant du plus grand nombre de points de mesure.

Le régime permanent correspond à un état stationnaire dans lequel toutes les grandeurs physiques sont indépendantes du temps. C'est-à-dire que le calage s'effectue à partir d'un état de nappe considéré comme représentatif du milieu modélisé (souvent défini en fonction des données disponibles). Les flux entrants (recharge de l'aquifère) et sortants (pompages par exemple) ainsi que les paramètres physiques (perméabilité, coefficient d'emménagement) restent stables au cours de la modélisation.

Un étalonnage en régime permanent consiste à ajuster les paramètres hydrodynamiques (pour l'essentiel les perméabilités des alluvions) de manière à reproduire au mieux les charges observées, tout en restant cohérent avec les observations de terrain. Les valeurs de perméabilité résultant de l'étalonnage du modèle sont les suivantes :

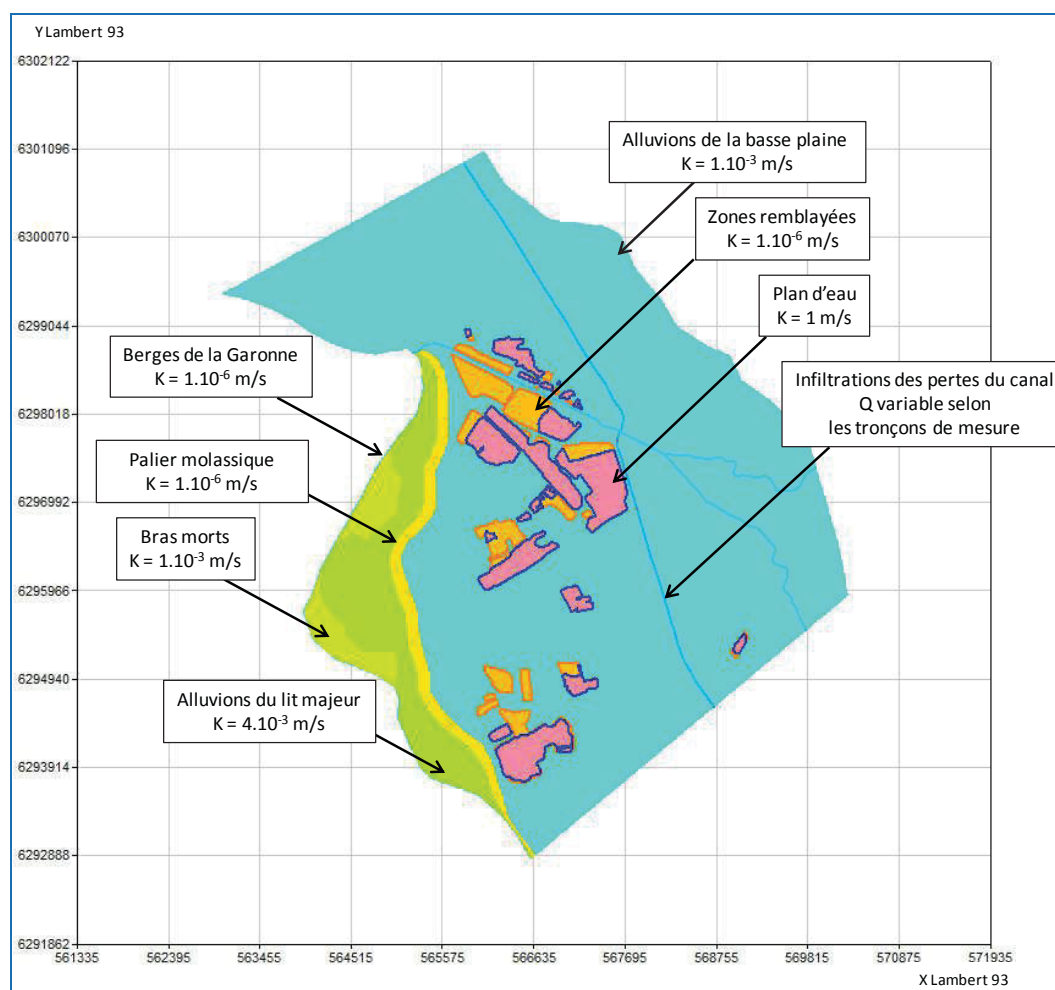


Figure 14 : Zonage des perméabilités prises en compte dans le modèle hydrodynamique état initial

Le **tableau 2** et la **figure 15** illustrent l'étalonnage du modèle hydrodynamique (comparaison entre les niveaux piézométriques calculés et observés).

Désignation	Type	Niveau piézométrique mesuré en mai 2016 (m/NGF)	Niveau piézométrique calculé (m/NGF)	Différence calc-obs (m)	Précision nivellement estimée (m)	Différence calc-obs ± précision nivellement (m)
Cast25	Puits	105.68	105.24	-0.44	0.01	-0.43
Cast19	Puits	107.18	106.79	-0.39	0.01	-0.38
Cast126	Puits	107.74	107.13	-0.61	0.50	-0.11
Puits_Maroul	Puits	106.53	105.41	-1.12	0.50	-0.62
Puits7_HydroE	Puits	108.52	108.87	0.35	0.50	0.00
Puits_StCaprais	Puits	108.57	108.24	-0.33	0.01	-0.32
Puits_MELLAC2_11HydroE	Puits	110.41	110.16	-0.25	0.50	0.00
Puits12_HydroE	Puits	111.92	110.76	-1.16	1.00	-0.16
Puits_Arbres	Puits	112.36	111.68	-0.68	0.50	-0.18
Puits_Serre	Puits	113.34	113.36	0.02	0.01	0.01
Puits_Compteur	Puits	113.42	113.51	0.09	0.01	0.08
Piezo_Ecluse	Piezometre	107.08	107.37	0.29	1.00	0.00
Puits_Garosse2	Puits	109.87	109.51	-0.36	1.00	0.00
Puits_Cast20bis	Puits	106.26	106.32	0.06	1.00	0.00
CA_NEW_01_OT	Piéromètre	106.58	106.61	0.03	0.01	0.02
CA1_200_OH	Piéromètre	106.60	106.64	0.04	0.01	0.03
CA1_300_OA	Piéromètre	106.74	106.70	-0.04	0.01	-0.03
CA1_002_OT	Piéromètre	107.19	106.98	-0.21	0.01	-0.20
LGV7_OA	Piéromètre	107.84	108.00	0.16	0.01	0.15
LGV21_OA	Piéromètre	110.17	110.29	0.12	0.01	0.11
LGV25_OA	Piéromètre	110.57	110.59	0.02	0.01	0.01
LGV13_OA	Piéromètre	110.65	108.73	-1.92	0.01	
CA1_NEW_15_OA	Piéromètre	111.26	111.54	0.28	0.01	0.27
CA1_208_OH	Piéromètre	111.73	111.94	0.21	0.01	0.20
CA1_310_OA	Piéromètre	111.94	111.90	-0.04	0.01	-0.03
CA1_009_OT	Piéromètre	113.21	113.63	0.42	0.01	0.41
CA1_210_OA	Piéromètre	113.94	113.68	-0.26	0.01	-0.25
CA_NEW_19_OA	Piéromètre	113.98	113.82	-0.16	0.01	-0.15
CA1_212_OH	Piéromètre	114.15	114.30	0.15	0.01	0.14
CA_NEW_21_OA	Piéromètre	114.28	114.23	-0.05	0.01	-0.04
TC2_001	Piéromètre	114.57	114.59	0.02	0.01	0.01
CA2_300	Piéromètre	114.66	114.87	0.21	0.01	0.20
CA2_302	Piéromètre	115.77	114.95	-0.82	0.50	-0.32
T032	PUITS	105.95	105.90	-0.04	0.50	0.00
T031	PUITS	107.18	106.28	-0.91	0.50	-0.41
T012	PUITS	112.16	112.19	0.03	0.50	0.00
Puits_Majoural	Puits	113.26	113.59	0.33	1.00	0.00
Puits_Bedelsi	Puits	113.40	113.43	0.03	1.00	0.00
Puits_Jalvin	Puits	114.67	114.68	0.01	1.00	0.00
Puits_Lac_ST_Jory	Puits	115.50	115.21	-0.29	1.00	0.00
Ecart minimal						-0.62
Ecart maximal						0.41
Ecart moyen (valeur absolue)						0.13

Tableau 2 : Résultats de l'étalonnage du modèle hydrodynamique sur la base des mesures piézométriques de moyennes eaux (mai 2016)

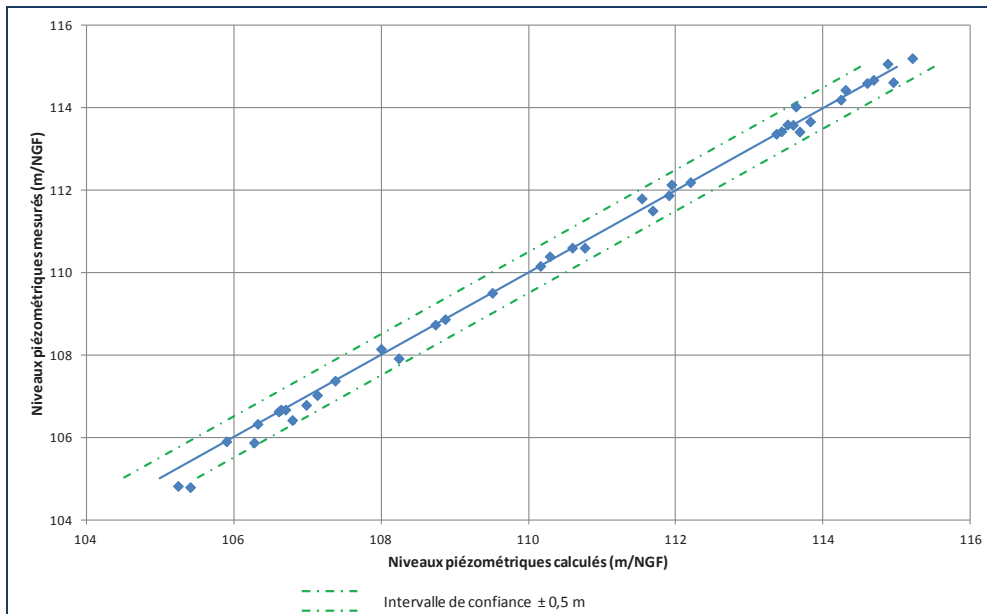


Figure 15 : Résultats de l'étalonnage du modèle hydrodynamique sur la base des mesures piézométriques de moyennes eaux (mai 2016)

L'écart moyen simulé est de $\pm 0,13$ m par rapport aux mesures effectuées. Il est au maximum de 0,62 m. L'étalonnage est acceptable. A noter que le point LGV13_OA présentant une valeur anormalement haute n'a pas été pris en compte dans le calage. Le gradient d'écoulement de la nappe en moyennes eaux est respecté. Les écarts mesures-calculs (incertitudes maximales du nivellement pris en compte) sont les suivants :

- moins de 0,2 mètre pour 75% des points ;
- moins de 0,5 mètre pour 98% des points ;
- moins de 0,7 mètre pour 100% des points.

Des écarts inférieurs à 0,2 m sont simulés dans la zone des lacs de Lagarde et de Capy.

La carte piézométrique simulée résultant de l'étalonnage du modèle hydrodynamique en moyennes eaux ainsi que le tracé des trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy sont reportés sur les **figures 16 et 17**.

La carte piézométrique ainsi que l'observation des trajectoires mettent en évidence un dôme piézométrique formé par les apports d'eau en provenance des fuites du canal latéral à la Garonne, qui ont été confirmés par les mesures de terrain.

La zone d'appel de ces plans d'eau s'étend sur une distance de 2 km entre les PK 237.500 et 239.500 au niveau de la ligne ferroviaire.

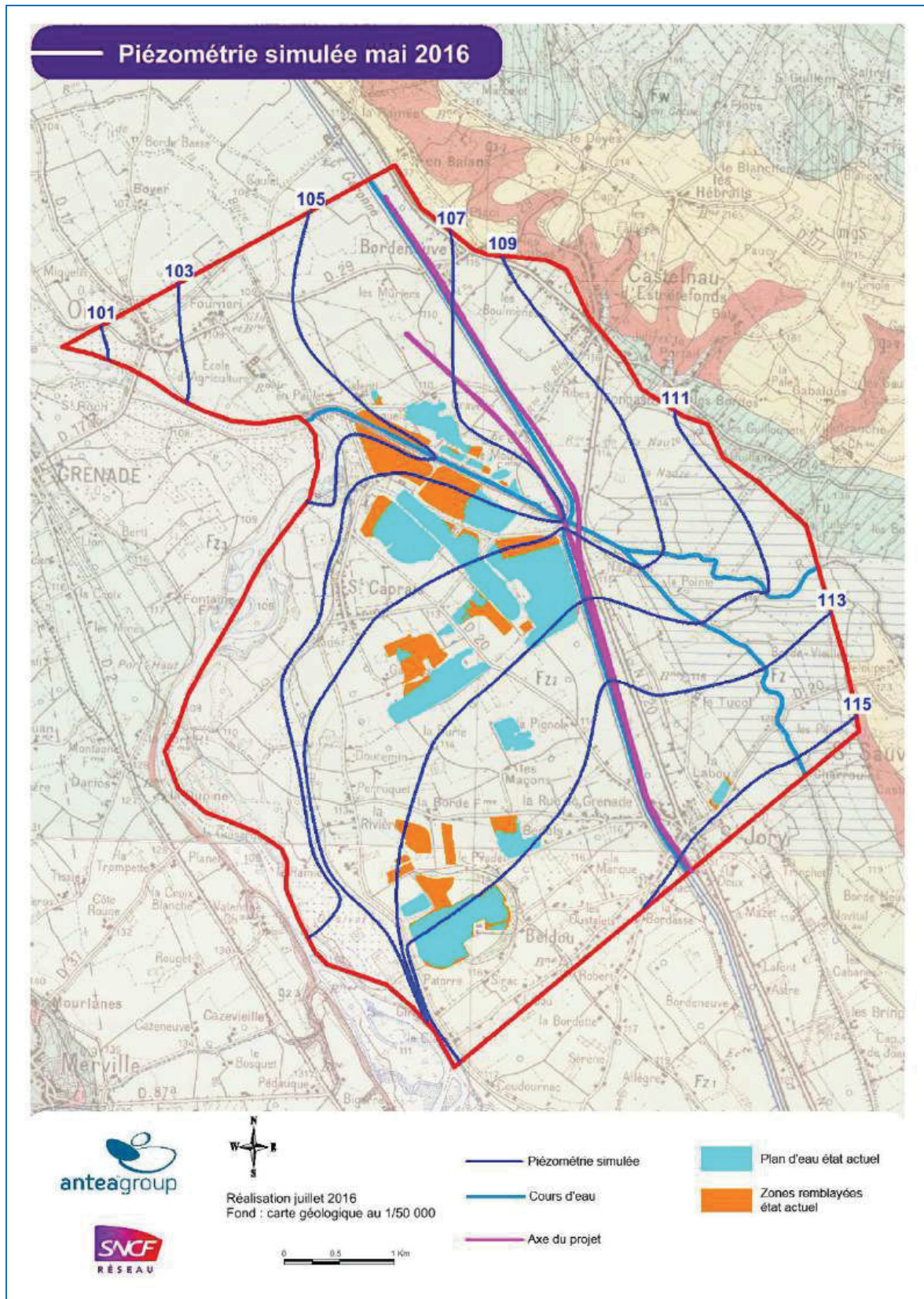


Figure 16 : Carte piézométrique simulée résultant de l'étalonnage du modèle hydrodynamique

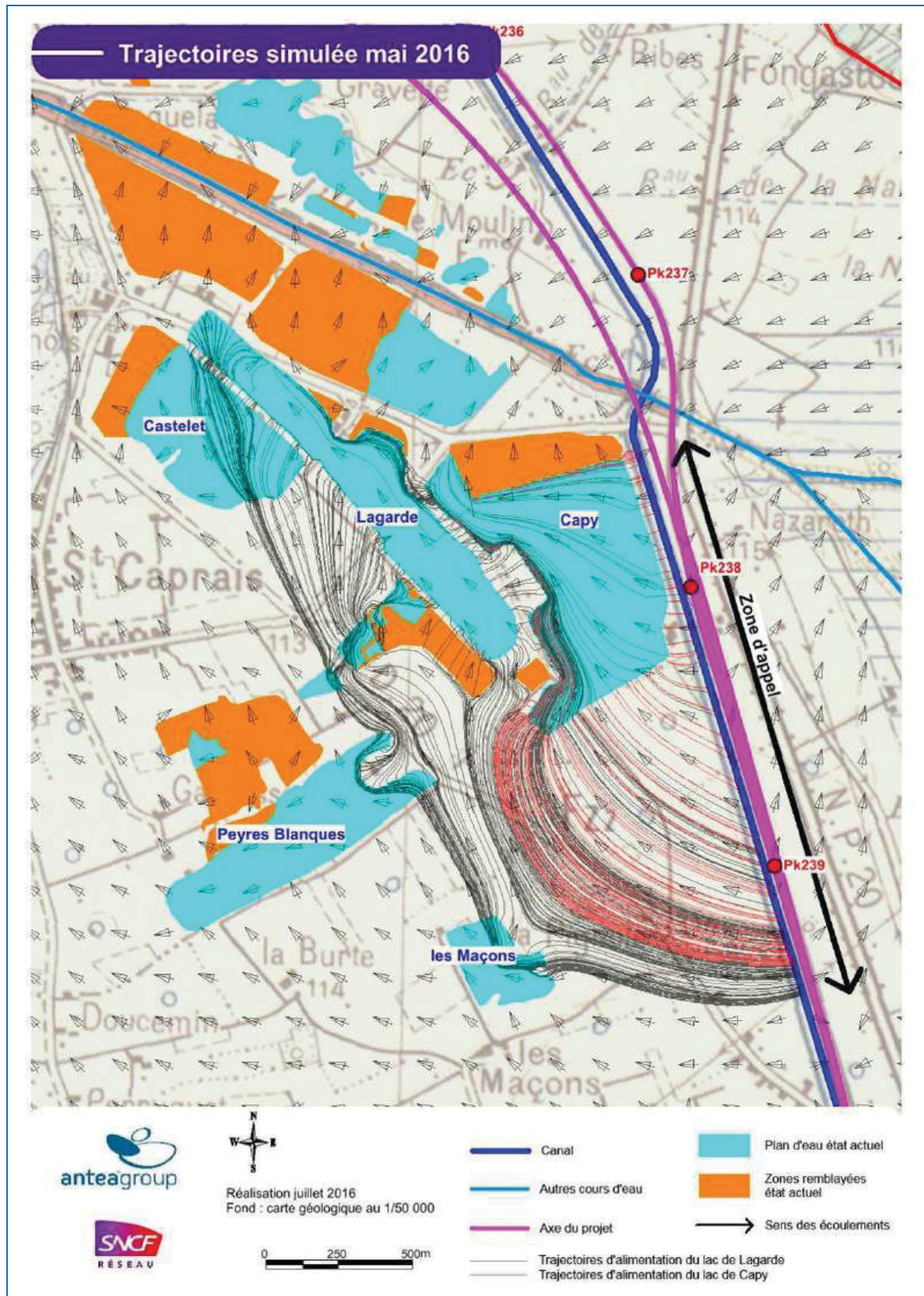


Figure 17 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – calage de modèle état hydraulique de moyennes eaux - mai 2016

4.3. Simulations – régime permanent de basses eaux et chômage du canal latéral à la Garonne

4.3.1. Contexte et objectifs des simulations

Les prélèvements en période de chômage du canal dans les plans d'eau de Lagarde et de Capy ont été autorisés le 4 octobre 2002 par arrêté préfectoral suite à l'avis de l'hydrogéologue agréé (juin 1999) et une enquête publique ayant conduit à un avis favorable pour un débit maximum de 35 000 m³/j. Cependant, dans sa note du 5 février 2010 et suite à la réalisation d'une modélisation hydrogéologique, l'hydrogéologue agréé estime que la ressource totale des gravières de Lagarde et de Capy peut fournir un débit maximal de 28 000 m³/j sur la base d'un prélèvement de 2 mois et d'un rabattement maximal des niveaux d'eau dans les lacs de 2,5 m.

En période de basses eaux, autant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, les objectifs principaux de la modélisation, sont d'évaluer l'impact des travaux sur les écoulements et la qualité des lacs de Lagarde et de Capy utilisés pour l'alimentation en eau potable en période de chômage du canal latéral à la Garonne. En effet hors période de chômage, le prélèvement pour l'eau potable s'effectue dans le canal latéral à la Garonne, l'évaluation des impacts quantitatifs et qualitatifs sur la nappe présente donc un intérêt moindre.

4.3.2. Descriptif des simulations

Ainsi 4 simulations ont été effectuées, deux simulations hydrodynamiques (variations de charges et de débits) et deux simulations hydrodispersives (simulation en transport des concentrations et flux de matière en nappe). Le détail des simulations est présenté dans le tableau suivant :

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT	
1	Hydrodynamique	Permanent	Non	Basses eaux	Non	Non	
2						Oui	
3	Hydrodispersive	Transitoire	Oui			Non	Non (uniquement passage souterrain)
4							Oui

Tableau 3 : Détail des simulations n°1 à 4

Le calage effectué en régime permanent a été établi sur la base d'une piézométrie de moyennes eaux. Les variations saisonnières maximales entre moyennes et basses eaux sont estimées entre 0,5 à 1 m à partir des données du piézomètre de Daux.

Sur la base de ces variations, l'ensemble des charges hydrauliques du modèle a été abaissé de 1 m afin de représenter une situation de basses eaux à très basses eaux. En effet, il s'agit de la baisse maximale mesurée par rapport à l'état de moyennes eaux (0,7 m) auquel s'ajoute une marge de sécurité de 0,3 m.

A noter que le chômage du canal s'effectue pendant une durée de 4 à 6 semaines généralement pendant les mois d'hivers (décembre à février), c'est-à-dire en période de basses à moyennes eaux. **Les simulations de basses eaux ont donc été effectuées pour un régime de chômage du canal (pas d'apport par infiltration du canal vers la nappe). Il s'agit alors de l'état de nappe le plus bas avec les apports d'eau les plus réduits c'est à dire l'état hydraulique le plus pénalisant possible.**

4.3.3. Etat avant travaux – simulation n°1

4.3.3.1. Hypothèses de la simulation n°1

Les hypothèses de la simulation sont synthétisées dans le tableau suivant.

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
1	Hydrodynamique	Permanent	Non	Basses eaux	Non	Non

Tableau 4 : Etat simulation n°1

4.3.3.2. Résultats de la simulation n°1

En l'absence d'alimentation de la nappe par les pertes du canal, les apports d'eau du lac de Capy s'effectuent en limite sud du modèle et pour partie par l'intermédiaire du lac de Saint-Jory (cf. figures 19 à 21). A noter que la zone remblayée située en aval immédiat du lac de Capy présente un obstacle important et perpendiculaire aux écoulements. Les écoulements doivent donc contourner cette zone remblayée.

Ainsi des écoulements vers l'ouest (lac de Lagarde) sont simulés, mais aussi des écoulements vers l'est, en bordure est du lac de Capy, réduisant ainsi la zone d'appel du lac en bordure de ce dernier. Les apports d'eau du lac de Lagarde proviennent quant à eux d'apports d'eaux souterraines et des écoulements « d'eaux superficielles – plans d'eau » qui transitent au préalable par les lacs de Capy, du Castelet, de Peyres Blanques et des Maçons.

Les apports d'eau simulés des lacs de Lagarde et de Capy sont respectivement de 25 et 57 m³/h (600 et 1 370 m³/j) ainsi la durée maximale de prélèvement calculée dans les lacs est au maximum de l'ordre de 1,5 mois pour un prélèvement atteignant 35 000 m³/j et de l'ordre de 2 mois pour un prélèvement de 28 000 m³/j.

Paramètre	Lagarde	Capy
Recharge (m/h)	25	57
Recharge (m/j)	600	1368
Niveau eau simulé (m NGF)	108.5	109.4
Fond -point le plus haut (m NGF)	106.3	107.2
Fond -point le plus bas (m NGF)	103.3	105.5
Fond moyen (m NGF)	104.8	106.4
Tranche d'eau moyenne (m)	3.7	3.0
Rabatement maximal autorisé (m)	2.5	2.5
Surface du lac (m ²)	268200	390300
Volume du lac exploitable (m ³)	670500	975750

Tableau 5 : Volumes des lacs exploitables – simulation n°1 avant travaux

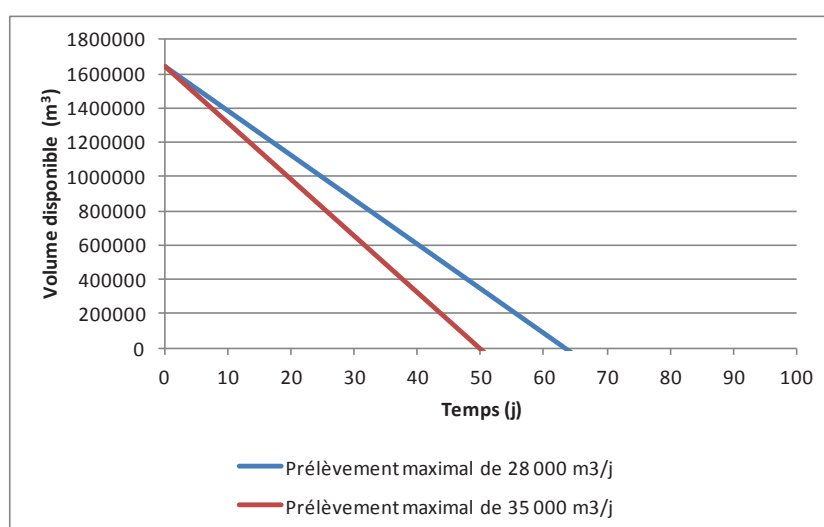


Figure 18 : Durées maximales de pompage dans les lacs de Lagarde et Capy - simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal

Dans cette configuration, la zone d'appel des plans d'eau s'étend en amont en limite du modèle sur une distance de 700 m et recoupe le tracé ferroviaire entre les PK 238.100 et 240.500 (limite sud du modèle). Ainsi, le risque principal en phase de travaux provient de la création du passage souterrain.

La nappe alluviale et les plans d'eau dans ces conditions peuvent fournir le débit maximal de 28 000 m³/j sur une période de prélèvement de 2 mois.

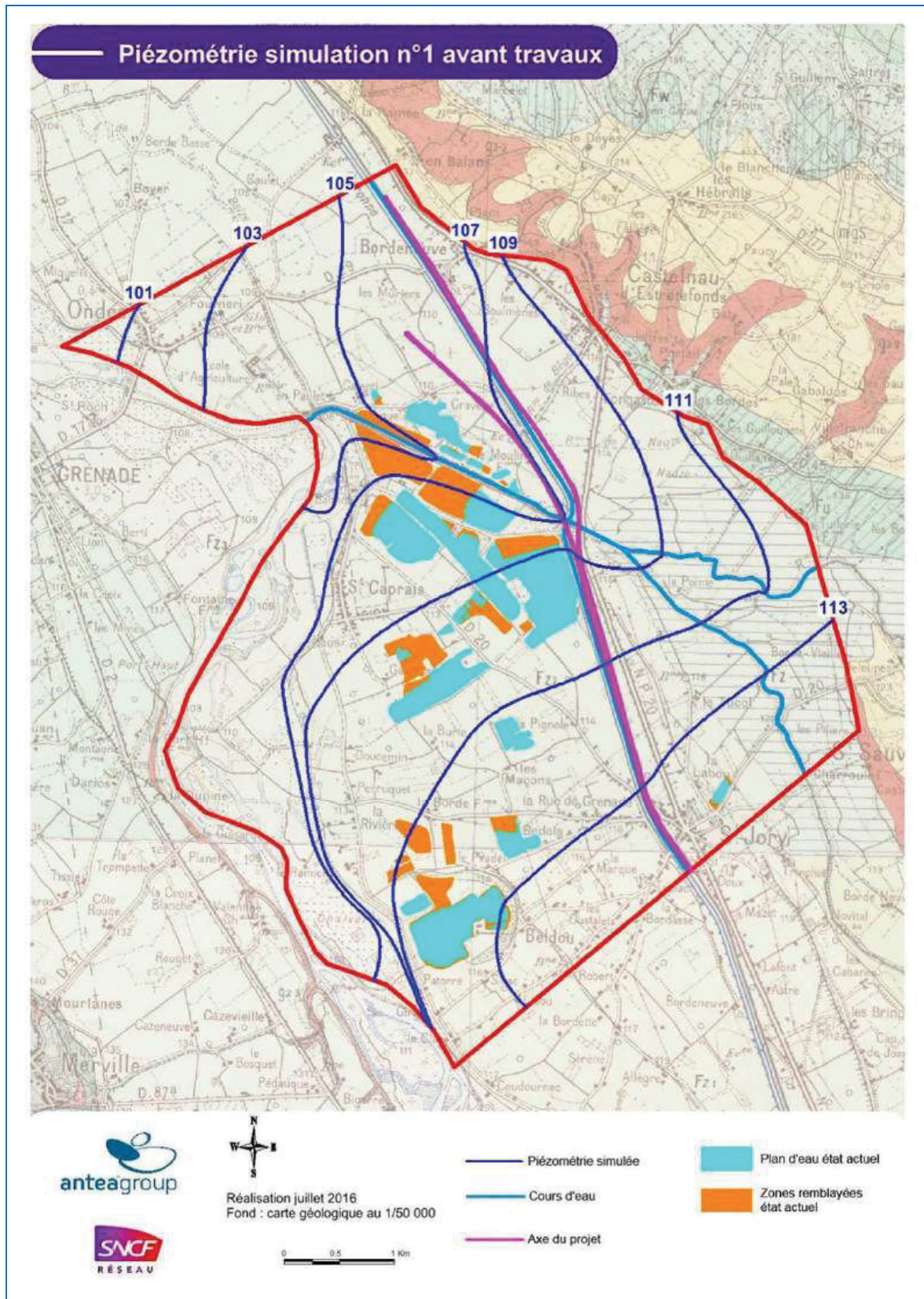


Figure 19 : Piézométrie simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal

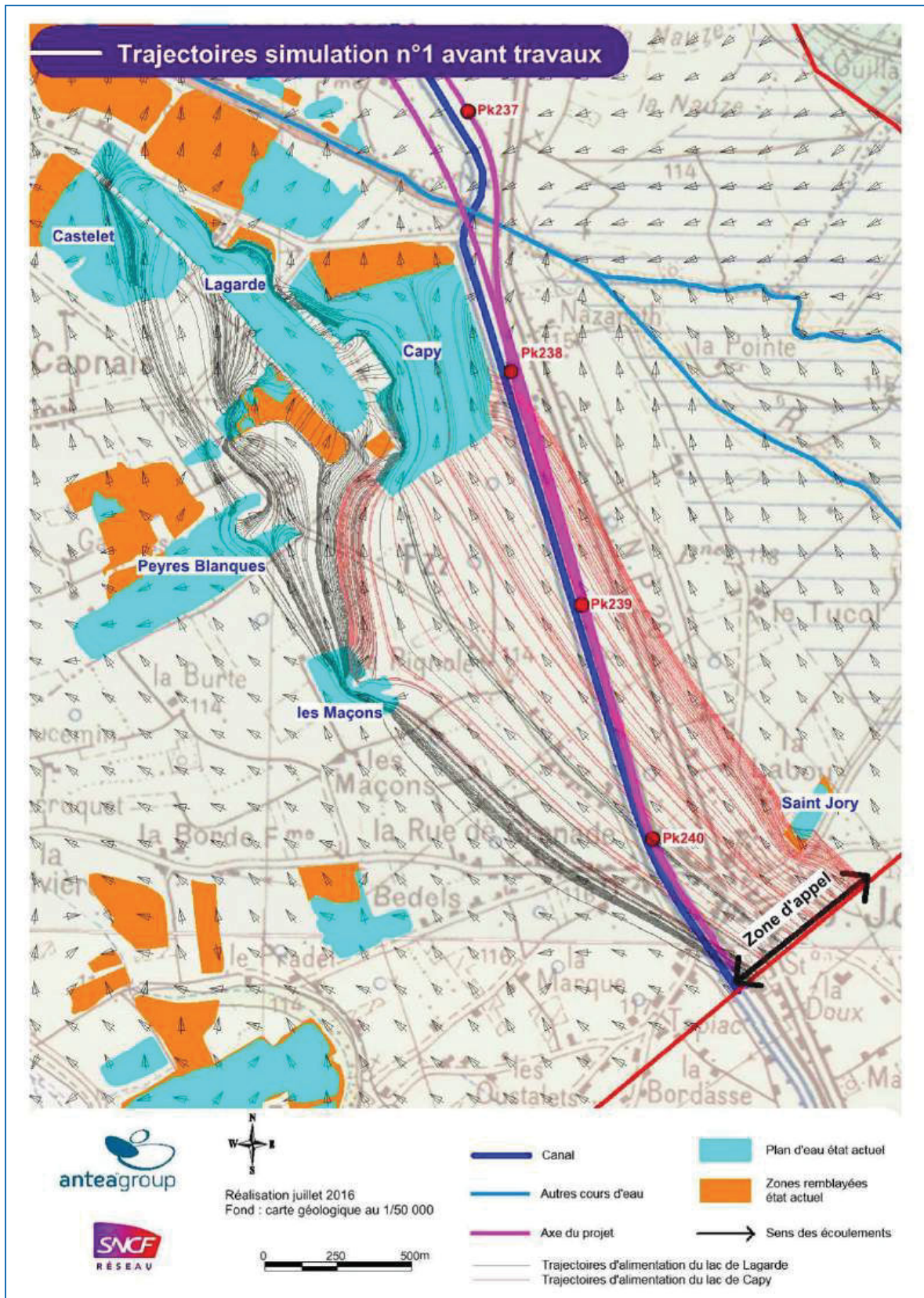


Figure 20 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal

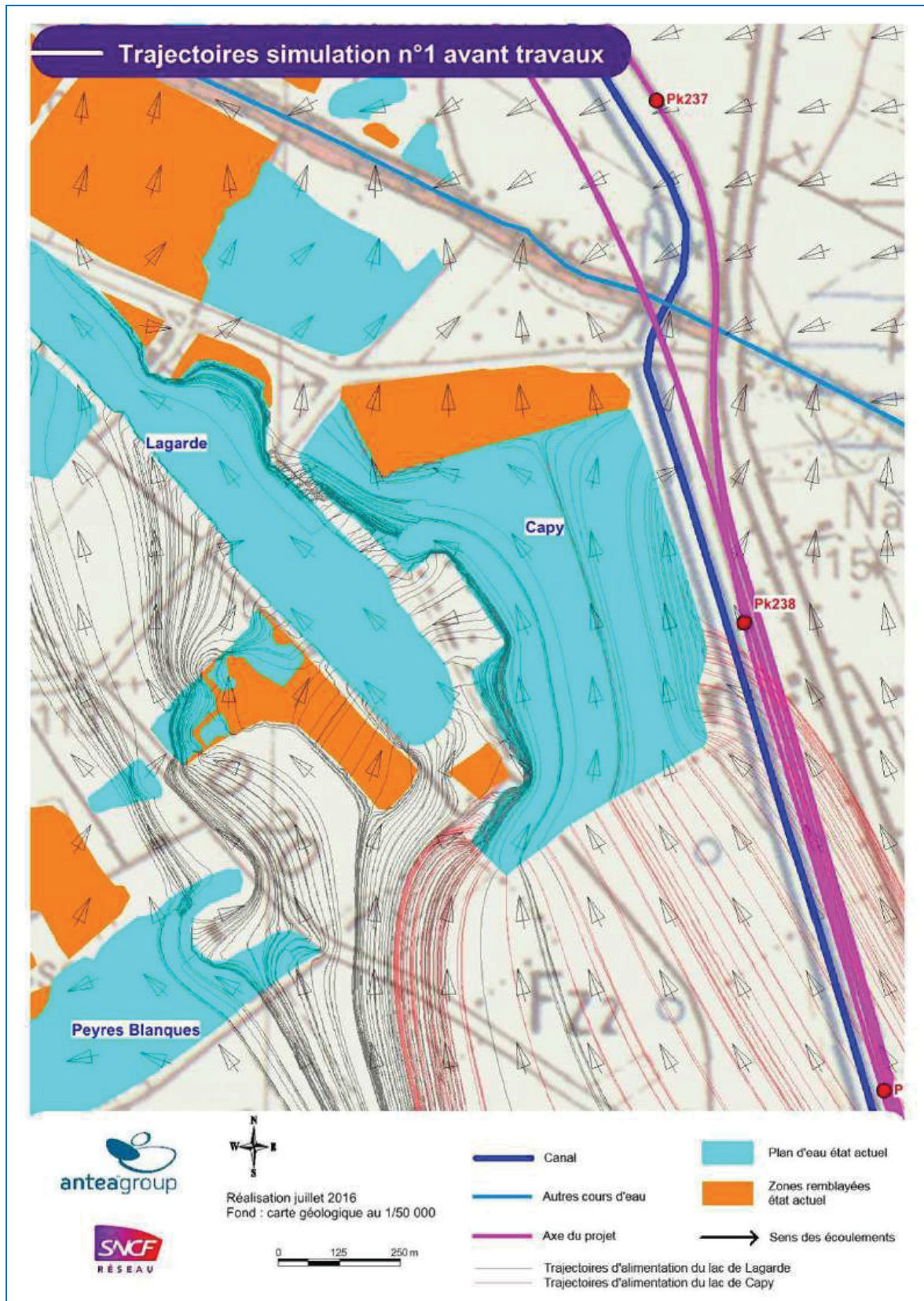


Figure 21 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°1 avant travaux – basses eaux et chômage du canal - zoom

4.3.4. Impacts quantitatifs des travaux – simulation n°2

4.3.4.1. Hypothèses de la simulation n°2

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
2	Hydrodynamique	Permanent	Non	Basses eaux	Non	Oui

Tableau 6 : Etat simulation n°2

Au niveau de Saint-Jory :

- la profondeur maximale atteinte par les zones de drainage et les blindages est de 2,5 m/sol. Ainsi, des bordures de mailles étanches ont été introduites dans la première couche du modèle (épaisseur de 2,5 m) sur l'ensemble du linéaire équipé de blindages. Des mailles à fortes perméabilités ($K=1.10^{-1}$ m/s) et débordements ont été introduites dans cette première couche pour représenter les zones de drainages. A noter qu'il s'agit ici d'une hypothèse sécuritaire basée sur la profondeur maximale atteinte par ce type de travaux. Pour la réalisation des simulations, les cotes des voies ferroviaires utilisées proviennent des plans détaillés du projet fournis par SNCF Réseau ;
- un bassin de rétention des eaux pluviales est présent au niveau du PK 237.570. La cote du fond du bassin est de 108,5 m NGF soit une profondeur de 8 m/sol c'est-à-dire environ 2,6 m au-dessus du substratum molassique estimé. Le fond et les bordures du bassin seront étanchéifiés. Ce bassin est représenté dans la modélisation par des mailles aux limites étanches jusqu'à la cote du substratum (couches 1 et 2). Il s'agit d'une hypothèse sécuritaire ;
- un ouvrage d'art est prévu au-dessus du canal avec un passage en remblais et aménagement d'un passage souterrain au niveau du PK 238.300. La cote du fond du passage souterrain est de 106,9 m soit une profondeur de l'ordre de 7,5 m/sol c'est-à-dire environ 1 m au-dessus du substratum molassique estimé. Cet ouvrage d'art est représenté dans la modélisation par des mailles aux limites étanches jusqu'à la cote du substratum (couches 1 et 2). Il s'agit d'une hypothèse sécuritaire ;
- des palplanches atteignant entre 5 et 7 m/sol sont présentes entre les PK 239.940 et 240.100. Ces palplanches sont situées en rive droite du canal et assurent le soutènement et l'étanchéité de la berge. En effet, la courbure imposée sur ce tronçon nécessite un espacement plus réduit entre la nouvelle voie et le canal. La cote du substratum sur ce tronçon est de l'ordre de 6,5 m/sol, ces palplanches sont représentées dans la modélisation par une limite étanche jusqu'au substratum molassique (couches 1 et 2) ;
- un second bassin de rétention des eaux pluviales est présent au niveau du PK 240.340. La cote du fond du bassin est de l'ordre de 111 m NGF soit environ 1 m au-dessus du substratum à cet endroit. Le fond et les bordures du bassin seront étanchéifiés. Ce bassin est représenté dans la modélisation par des mailles aux limites étanches jusqu'au substratum molassique (couches 1 et 2). Il s'agit d'une hypothèse sécuritaire.

Les caractéristiques des travaux et les hypothèses prises en compte pour la modélisation sont synthétisées dans le tableau suivant :

Nature	PK	Prise en compte couche n°1 du modèle (2,5 m/sol)	Prise en compte couche n°2 du modèle (jusqu'au substratum molassique)
Blindages uniquement	234.200 à 234.650	Oui – limites de mailles étanches	Non
Blindages et dispositifs de drainage	234.650 à 234.775 235.200 à 235.400 239.400 à 240.200	Oui – limites de mailles étanches + mailles de perméabilités $K = 10^{-1}$ m/s avec débordements	Non
Dispositifs de drainage uniquement	234.775 à 235.200 237.500 à 239.400 240.200 à 240.700	Oui – mailles de perméabilités $K = 10^{-1}$ m/s avec débordements	Non
Bassin de rétention des eaux pluviales n°1	237.570	Oui – limites de mailles étanches	Oui – limites de mailles étanches
Passage souterrain	238.300	Oui – limites de mailles étanches	Oui – limites de mailles étanches
Palplanches bordure canal	239.940 à 240.100	Oui – limites de mailles étanches	Oui – limites de mailles étanches
Bassin de rétention des eaux pluviales n°2	240.340	Oui – limites de mailles étanches	Oui – limites de mailles étanches

Tableau 7 : Travaux pris en compte pour la modélisation

L'estimation des débits de drainage a été effectuée dans un premier temps à partir de la perméabilité des alluvions issues du calage du modèle (1.10^{-3} m/s). Cependant, localement des variations de perméabilités peuvent être rencontrées (lentilles plus ou moins argileuses ou sableuses) induisant des modifications des débits. Ainsi, l'estimation des débits de drainage a été effectuée à partir de perméabilités comprises entre 8.10^{-4} m/s et 3.10^{-3} m/s.

4.3.4.2. Résultats de la simulation n°2

Les résultats de la simulation montrent que les niveaux piézométriques au niveau des aménagements ferroviaires dans le secteur des lacs de Lagarde et de Capy sont globalement situés sous la profondeur maximale atteinte par les aménagements linéaires (blindages et zones de drainage).

Cependant dans certains secteurs, notamment au sud du passage souterrain des remontées importantes du niveau piézométrique sont simulées induisant des débits dans les zones de drainage.

Ainsi, sur la base **des hypothèses de perméabilité**, les débits drainés sont estimés de l'ordre de 50 m³/h sur le tronçon des PK 238.3 à 239.0 et représentent jusqu'à 120 m³/h sur l'ensemble du linéaire modélisé. **A noter que ces débits peuvent localement varier en fonction de la lithologie locale des formations rencontrées et de leurs perméabilités** et que les cotes prises en compte pour les aménagements linéaires sont des cotes issues d'hypothèses majorantes et sécuritaires.

Tronçon	Profondeur d'eau minimale (m/sol)	Profondeur d'eau minimale sous les aménagements (-2,5 m/sol)	Débit de drainage (m ³ /h)
233.8 à 234.2	≈ 6,4	≈ 3,9	0
234.2 à 235.4	≈ 3,7	≈ 1,2	0
235.4 à 237.0 (ouvrage d'art)	≈ 4,2	≈ 1,7	0
237.5 (bassin de rétention) à 238.0	≈ 5,3	≈ 2,8	0
238.0 à 238.3 (passage souterrain A 238.3)	≈ 3,4	≈ 0,9	0
238.3 à 239.0	2,5 (drainage)	0,0	15 à 50
239.0 à 240	2,5 (drainage)	0,0	25 à 60
240 à 240.7	2,5 (drainage)	0,0	15 à 25

Tableau 8 : Profondeurs d'eau – simulation n°2 avec aménagements

Les débordements de la nappe induisent un décalage important vers le sud-ouest des trajectoires d'écoulement en direction des lacs de Lagarde et de Capy.

Dans cette configuration, les apports d'eau simulés sont identiques pour le lac de Lagarde mais baissent légèrement pour le lac de Capy (de 57 à 41 m³/h). Ainsi, la durée maximale de prélèvement calculée dans les lacs est identique pour un prélèvement atteignant 35 000 m³/j (1,5 mois), et baisse d'une journée pour un prélèvement de 28 000 m³/j (2 mois).

En période de basses eaux et de chômage du canal latéral à la Garonne, les aménagements n'ont que peu d'impacts sur l'alimentation en eau des lacs de Lagarde et de Capy. Cependant, comme c'est actuellement le cas, en cas d'imprévu sur le canal, la durée de prélèvement reste limitée dans le temps.

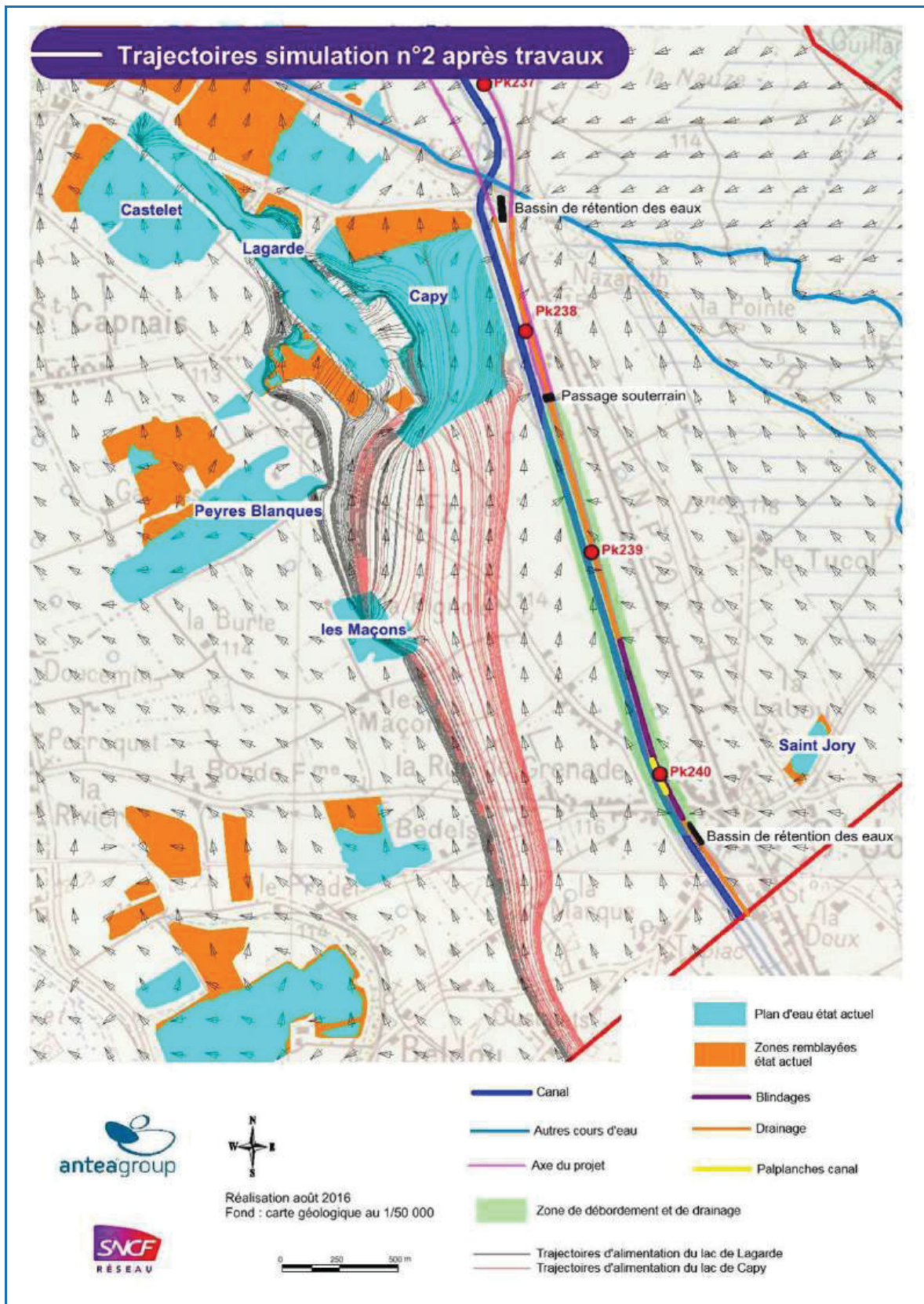


Figure 22 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°2 après travaux – basses eaux et chômage du canal

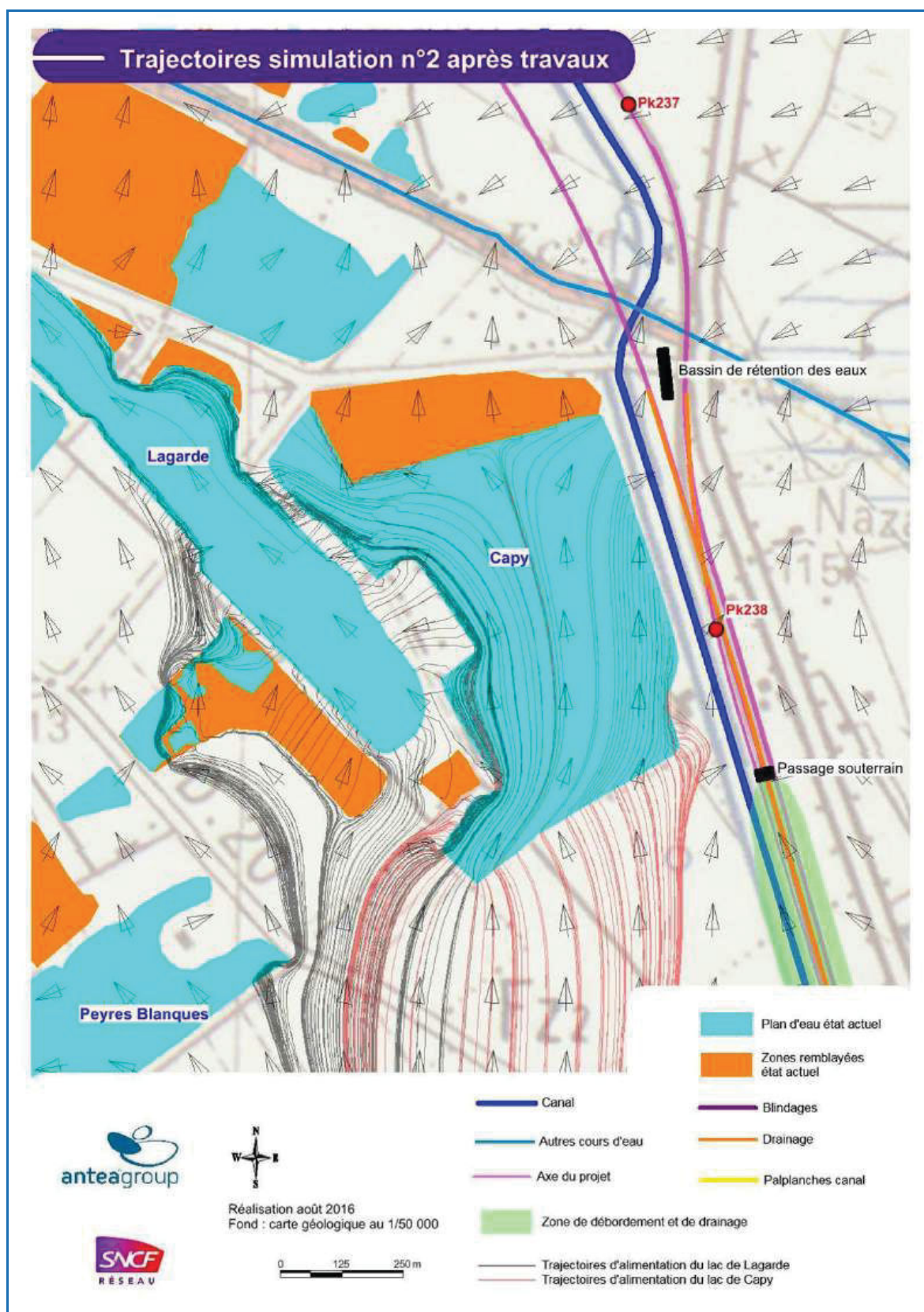


Figure 23 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°2 après travaux – basses eaux et chômage du canal - zoom

4.3.5. Impacts qualitatifs des travaux - simulations n°3

4.3.5.1. Hypothèses de la simulation n°3

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
3	Hydrodispersive	Transitoire	Oui	Basses eaux	Non	Non (uniquement passage souterrain)

Tableau 9 : Etat simulation n°3

Pour la résolution d'un problème de transport, le régime de calcul utilisé correspond à un régime transitoire (variable dans le temps), ceci afin d'obtenir une meilleure convergence numérique et des résultats corrects.

Il est également nécessaire d'adapter le pas de temps de calcul afin de limiter la dispersion numérique. En effet, les résultats sont d'autant plus précis que la discrétisation du temps est fine. Cette discrétisation est calculée à partir du nombre de Courant. Dans le cas présent, compte tenu des paramètres hydrauliques de l'aquifère et de la taille des mailles, le pas de temps adopté correspond à une journée. Les simulations s'étendent quant à elle sur une durée de 500 à 800 jours.

Le tableau suivant rappelle les principaux mécanismes et paramètres associés à la propagation des polluants ainsi que les valeurs prises en compte dans le modèle. Le choix de ces paramètres est détaillé en **annexe 4**.

Mécanisme	Paramètre	Valeur
Advection (ou convection)	Porosité	10 %
Dispersion cinématique	Dispersivité longitudinale	120 m
	Dispersivité transversale	12 m

Tableau 10 : Valeurs des paramètres hydrodispersifs utilisées pour les simulations.

Le polluant considéré pour les simulations correspond à un polluant « parfait » totalement miscible instantanément et ne se dégradant pas. De plus il est pris l'hypothèse d'un polluant déversé directement et en totalité dans le niveau aquifère. **Il s'agit du cas le plus défavorable.**

Ainsi une simulation d'une injection de 100 kg (capacité du réservoir d'huile d'une pelle mécanique) d'un polluant parfaitement miscible à l'eau, non dégradable, directement dans l'aquifère, au niveau du passage souterrain a été effectuée. Aucun autre aménagement n'a été pris en compte pour cette simulation.

Afin de prendre en compte les prélèvements effectués sur les lacs de Lagarde et de Capy, un pompage d'une durée de 60 jours réparti sur les deux plans d'eau à un débit équivalent à 28 000 m³/j a été pris en compte à partir du jour de l'injection du polluant (hypothèse la plus défavorable).

4.3.5.2. Résultats de la simulation n°3

Le graphique de la figure suivante présente l'évolution dans le temps des concentrations simulées :

- au centre du lac de Capy ;
- au lac de Lagarde au niveau de la prise pour l'eau potable ;
- dans l'Hers (concentration en sortie de nappe), en aval du lac de Capy.

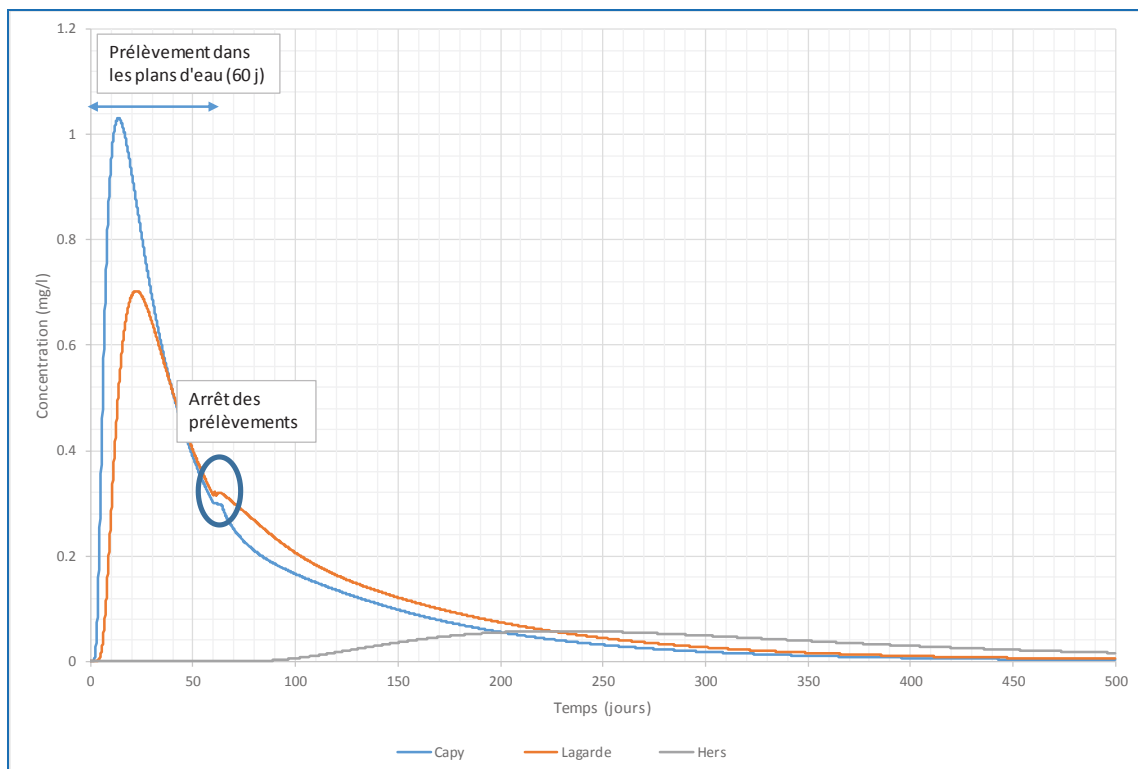


Figure 24 : Simulation n°3 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers

Les résultats obtenus montrent que :

- les temps d'apparition au niveau des deux lacs, sont très courts de l'ordre d' une journée au lac de Capy et de 3 jours au lac de Lagarde ;
- le maximum de concentration (polluant parfait) est observé sur le lac de Capy au bout de 14 jours et atteint 1,1 mg/l. Au lac de Lagarde, le pic de concentration est simulé au bout de 25 jours et atteint 0,7 mg/l ;
- à l'arrêt des prélèvements au bout de 60 jours, une rupture de la pente est observable correspondant au rééquilibrage des niveaux dans les lacs ;
- le temps de passage du polluant dans les lacs ($< 0,1 \mu\text{g/l}$) est supérieur à 500 jours. A noter qu'aucune autre période de prélèvements dans les lacs n'a été simulée ;
- le temps d'apparition du polluant des eaux de nappe se déversant dans l'Hers est de l'ordre de 70 jours. La concentration maximale est simulée à 0,06 mg/l au bout de 250 jours. Le temps de passage du polluant est supérieur à 500 jours.

Ces résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Point d'observation	Apparition du polluant (j)	Temps du maximum de concentration (j)	Maximum de concentration (mg/l)	Taux de dilution unitaire (l)
Centre du lac de Capy	1	14	1,1	$1,1 \cdot 10^{-8}$
Lac de Lagarde au niveau de la prise d'eau	3	25	0,7	$0,7 \cdot 10^{-8}$
L'Hers en aval du lac de Capy	70	250	0,06	$0,6 \cdot 10^{-9}$

Tableau 11 : Bilan de la simulation n°3 – basses eaux - phase travaux

Les taux de dilutions unitaires dans les lacs sont de l'ordre de $1,1 \cdot 10^{-8}$ l à $0,7 \cdot 10^{-8}$ l, c'est-à-dire que pour une pollution de 300 kg ($3 \cdot 10^8$ mg), les concentrations maximales attendues au niveau des lacs, pour les mêmes conditions que celles des simulations, sont de l'ordre 3,3 mg/l pour le lac de Capy et de 2,1 mg/l pour le lac de Lagarde.

Une pollution (déversement de 100 kg d'un polluant parfaitement miscible à l'eau et non dégradable, directement dans l'aquifère) au niveau de la création du passage souterrain, en période de basses eaux de nappe et de pompage dans les lacs de Capy et de Lagarde se traduit par des temps d'arrivée courts (de l'ordre de la journée), et une concentration maximale de l'ordre de 1,1 mg/l, très supérieure aux normes de potabilité pour de nombreux composés. Des mesures de prévention (cf. paragraphe 5.3) devront être mises en place en phase de travaux afin de limiter la diffusion d'une éventuelle pollution. Il est cependant important de garder à l'esprit que les hypothèses prises en compte pour la simulation sont fortement pénalisantes.

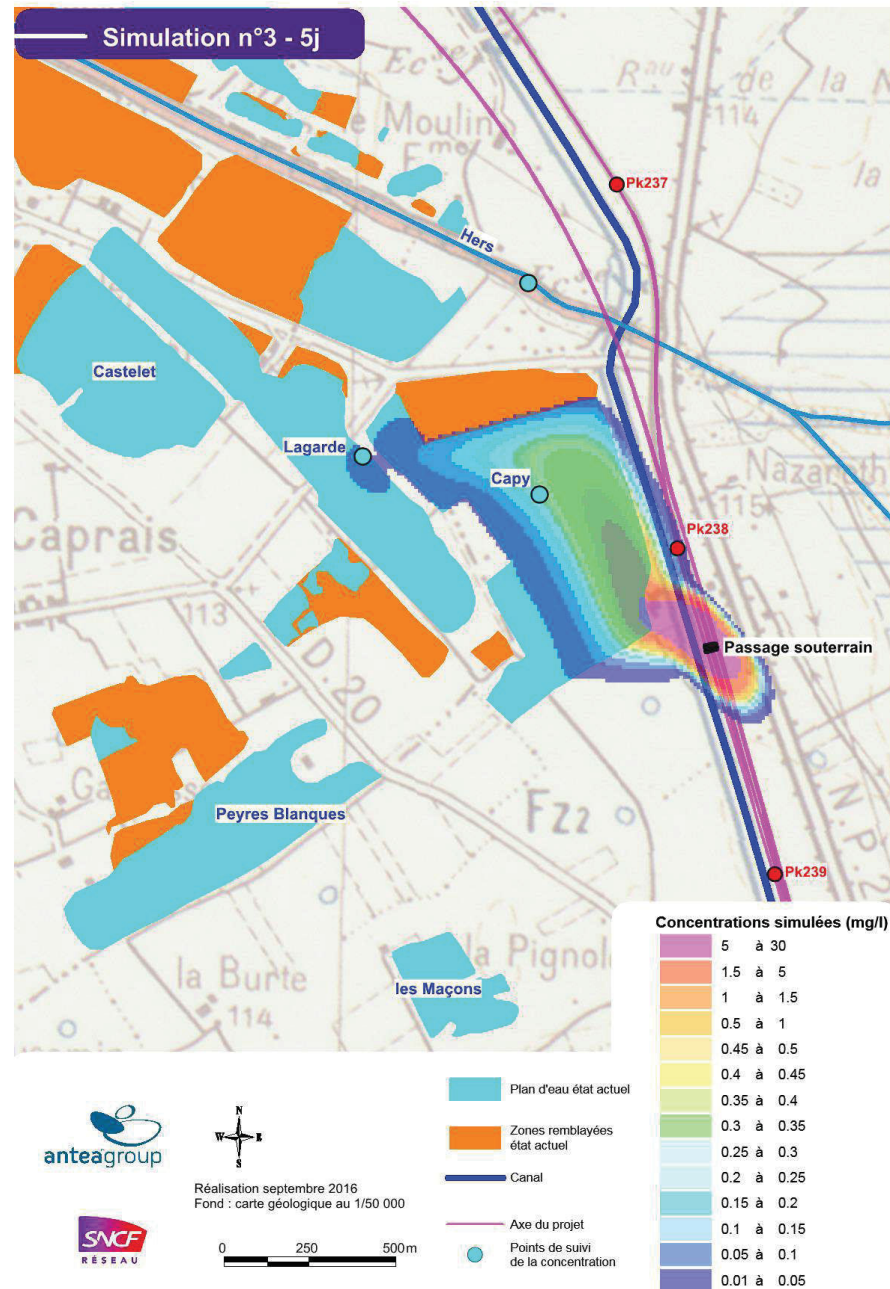


Figure 25 : Simulation n°3 - basses eaux, phase travaux, 5 j

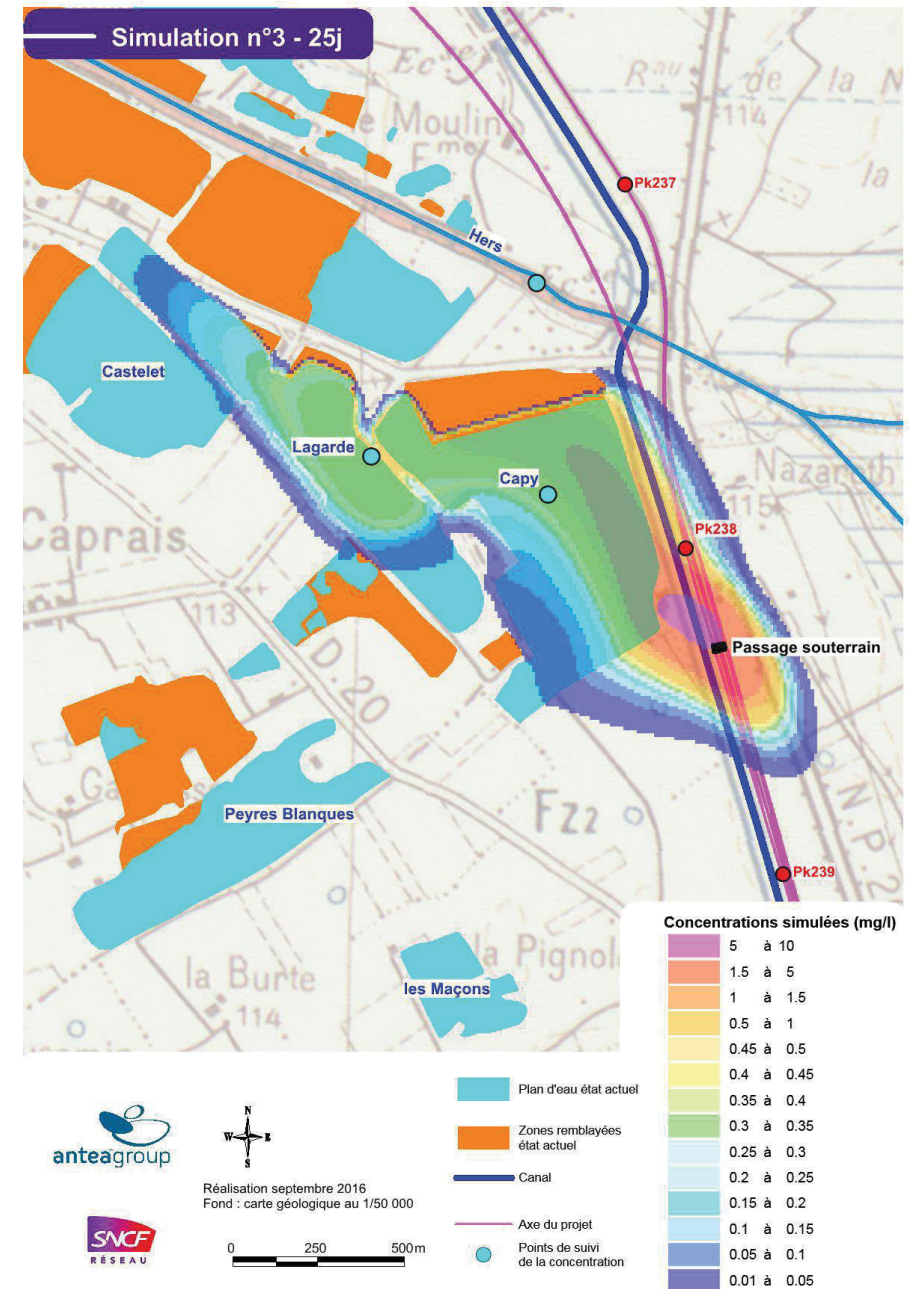


Figure 26 : Simulation n°3 - basses eaux, phase travaux, 25 j

4.3.6. Impacts qualitatifs en phase d'exploitation - simulation n°4

4.3.6.1. Hypothèses de la simulation n°4

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
4	Hydrodispersive	Transitoire	Oui	Basses eaux	Non	Oui

Tableau 12 : Etat simulation n°4

En régime de basses eaux, une seconde simulation hydrodispersive a été réalisée en phase d'exploitation de la ligne (prise en compte de l'ensemble des aménagements prévus). Ainsi un déversement de 1000 kg d'un polluant parfaitement miscible à l'eau, non dégradé directement dans l'aquifère, au niveau du PK 239.0 a été simulé pouvant correspondre à un déraillement d'un train suivi d'un renversement important d'une substance polluante. **Il s'agit du cas le plus défavorable.**

Comme pour la simulation précédente, afin de prendre en compte les prélèvements effectués sur les lacs de Lagarde et de Capy, un pompage d'une durée de 60 jours répartis sur les deux plans d'eau à un débit équivalent à 28 000 m³/j a été pris en compte à partir du jour de l'injection du polluant parfait (hypothèse la plus défavorable).

4.3.6.2. Résultats de la simulation n°4

Les résultats obtenus montrent que :

- les temps d'apparition du polluant sont de l'ordre de 20 jours au lac de Capy et de 25 jours au lac de Lagarde ;
- le maximum de concentration (polluant parfait) est observé sur le lac de Capy au bout de 220 jours et atteint 2,4 mg/l. Au lac de Lagarde, le pic de concentration est simulé au bout de 260 jours et atteint 1,5 mg/l ;
- à l'arrêt des prélèvements au bout de 60 jours, une rupture de la pente est observable correspondant au rééquilibrage des niveaux dans les lacs ;
- le temps de passage du polluant dans les lacs (< 0,1 µg/l) est supérieur à 800 jours. A noter qu'aucune autre période de prélèvements dans les lacs n'a été simulée ;
- le temps d'apparition du polluant des eaux de nappe se déversant dans l'Hers est de l'ordre de 80 jours. La concentration maximale est simulée à 0,5 mg/l au bout de 430 jours. Le temps de passage du polluant est supérieur à 800 jours.

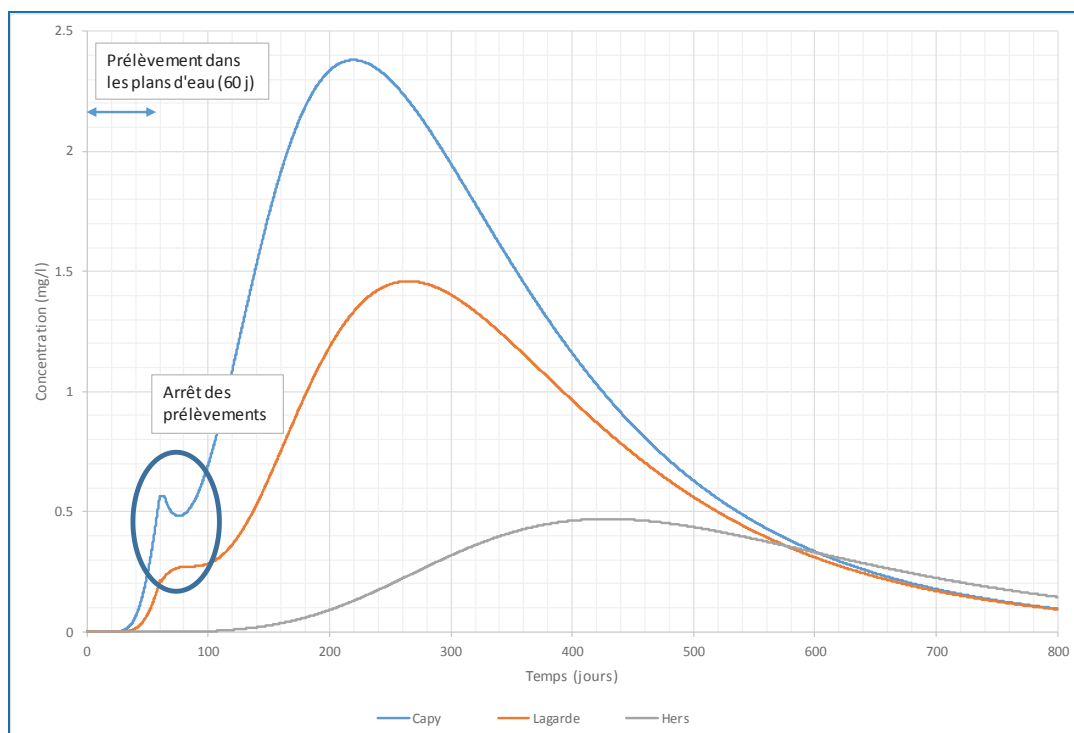


Figure 27 : Simulation n°4 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers

Ces résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Point d'observation	Apparition du polluant (j)	Temps du maximum de concentration (j)	Maximum de concentration (mg/l)	Taux de dilution unitaire (l)
Centre du lac de Capy	20	220	2,4	$2,4 \cdot 10^{-9}$
Lac de Lagarde au niveau de la prise d'eau	25	260	1,5	$1,5 \cdot 10^{-9}$
L'Hers en aval du lac de Capy	80	430	0,5	$0,5 \cdot 10^{-10}$

Tableau 13 : Bilan de la simulation n°4 – basses eaux - phase d'exploitation

Les taux de dilutions unitaires dans les lacs sont de l'ordre de $2,4 \cdot 10^{-9}$ à $1,5 \cdot 10^{-9}$ l, c'est-à-dire que pour une pollution de 3000 kg ($3 \cdot 10^9$ mg), les concentrations maximales attendues au niveau des lacs, dans les mêmes conditions que celles des simulations, sont de l'ordre 7,2 mg/l pour le lac de Capy et de 4,5 mg/l pour le lac de Lagarde.

Ces taux de dilution sont environ 10 fois plus faibles (dilution plus importante) que pour la simulation n°3. En effet, le polluant est injecté à une distance plus importante des lacs et « s'étale » ainsi de manière importante avant d'atteindre ces derniers. De plus, du fait de la distance avec le point d'injection, l'influence du pompage durant les 60 premiers jours est atténuée. Le débordement de nappe lié aux aménagements dans certains secteurs permet aussi une limitation des flux atteignant les plans d'eau.

Une pollution sur la ligne ferroviaire, en période d'exploitation de cette dernière (déversement de 1000 kg d'un polluant parfaitement miscible à l'eau et non dégradé, directement dans l'aquifère) au niveau du PK 239, en période de basses eaux de nappe et de pompage dans les lacs de Capy et de Lagarde se traduit par des temps d'arrivée de l'ordre de 25 à 30 jours, et une concentration atteignant 2,4 mg/l très supérieure aux normes de potabilité pour de nombreux composés. Des mesures de préventions (cf. paragraphe 5.3) devront être mises en place, en période d'exploitation afin de limiter l'infiltration et la diffusion d'une éventuelle pollution. Il est cependant important de garder à l'esprit que les hypothèses prises en compte pour la simulation sont fortement pénalisantes.

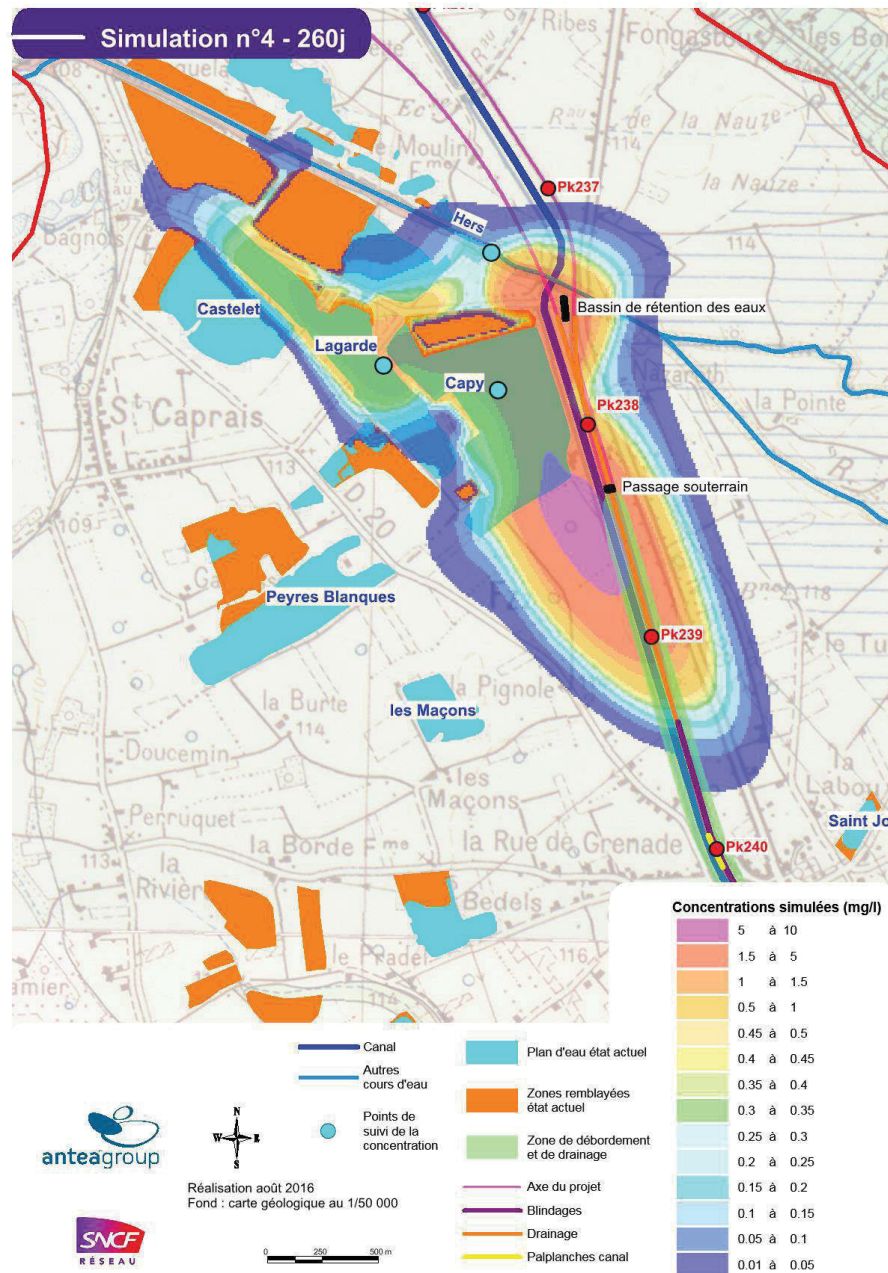


Figure 28 : Simulation n°4 - basses eaux, phase exploitation, 260 j

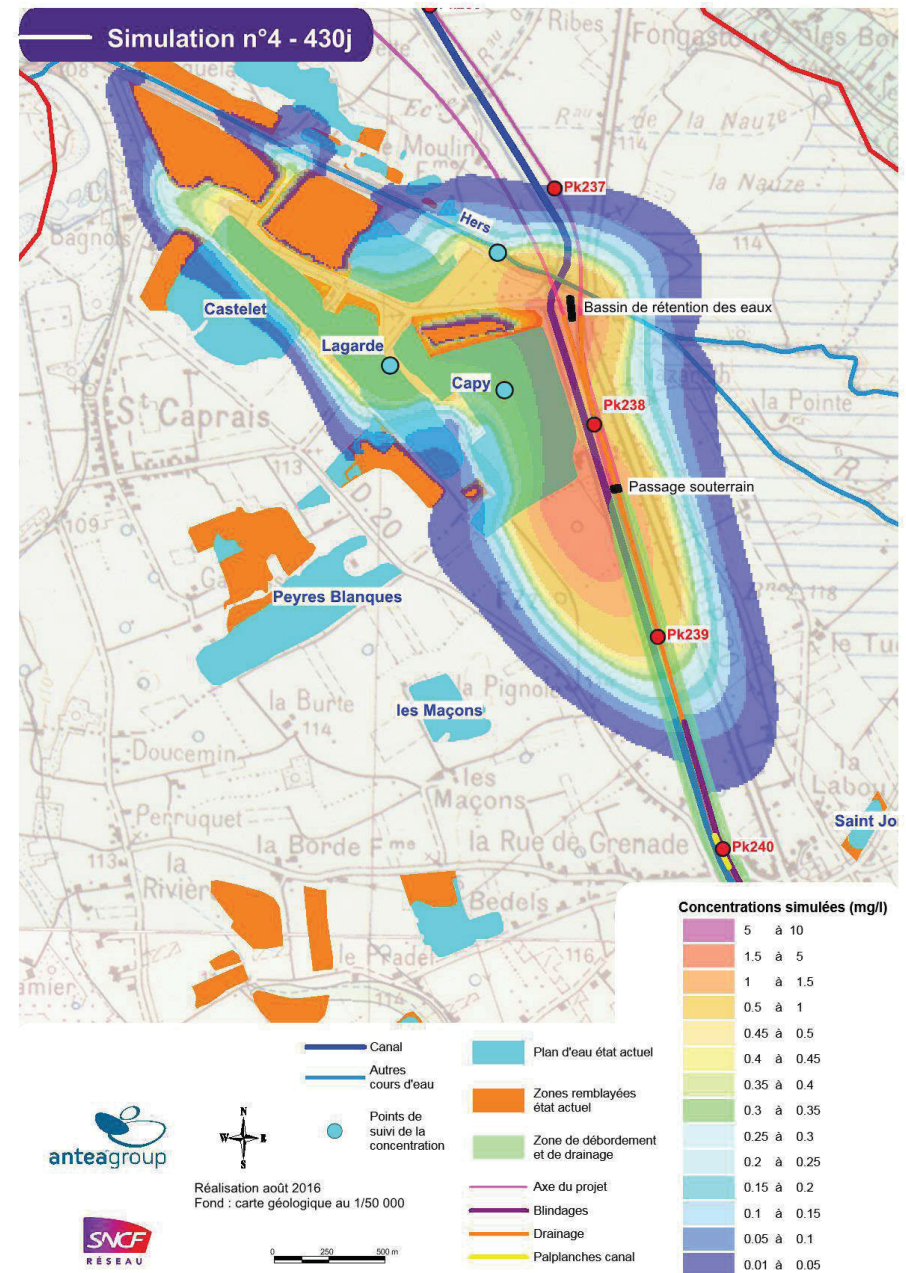


Figure 29 : Simulation n°4 - basses eaux, phase exploitation, 430 j

4.4. Simulations – régime permanent de très-hautes eaux hors période de chômage du canal latéral à la Garonne

4.4.1. Contexte et objectifs

En période de très hautes eaux (avril à juin), c'est-à-dire hors période de chômage du canal latéral à la Garonne, autant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, les objectifs principaux de la modélisation sont d'évaluer les apports d'eau maximums en fond de fouilles et la mise en charge des ouvrages souterrains mais aussi l'impact d'une éventuelle pollution sur la nappe alluviale (hors période de pompage dans les lacs de Lagarde et de Capy).

4.4.2. Descriptif des simulations

Ainsi, 4 simulations ont été effectuées, deux simulations hydrodynamiques (variations de charges et de débits) et deux simulations hydrodispersives (simulation en transport des concentrations et flux de matière en nappe). Le détail des simulations est présenté dans le tableau suivant :

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
5	Hydrodynamique	Permanent	Non	Très hautes eaux	Oui	Non
6						Oui
7	Hydrodispersive	Transitoire	Oui			Non (uniquement passage souterrain)
8						

Tableau 14 : Détail des simulations n°5 à 8

Le calage effectué en régime permanent a été établi sur la base d'une piézométrie de moyennes eaux. Les variations saisonnières maximales entre moyennes et très hautes eaux sont estimées à environ 1,5 m à partir des données du piézomètre de Daux. **Sur la base de ces variations, l'ensemble des charges hydrauliques du modèle a été augmenté de 1,5 m afin de représenter une situation de très hautes eaux.**

A noter que le chômage du canal s'effectue pendant une durée de 4 à 6 semaines généralement pendant les mois d'hivers (décembre à février), c'est-à-dire en période de basses à moyennes eaux. **Les simulations de très hautes eaux ont donc été effectuées hors régime de chômage du canal (avec apports d'eau par infiltration du canal vers la nappe).**

4.4.3. Etat avant travaux – simulation n°5

4.4.3.1. Hypothèses de la simulation n°5

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
5	Hydrodynamique	Permanent	Non	Très hautes eaux	Oui	Non

Tableau 15 : Etat simulation n°5

4.4.3.2. Résultats de la simulation n°5

Comme en régime permanent de moyennes eaux, la carte piézométrique ainsi que l'observation des trajectoires (cf. figures 30 et 31) mettent en évidence un dôme piézométrique formé par les apports d'eau en provenance des fuites du canal latéral à la Garonne.

Ainsi, en période d'écoulement dans le canal, les apports d'eau du lac de Capy s'effectuent à partir des pertes du canal et des écoulements en provenance de la nappe alluviale. Les apports d'eau du lac de Lagarde proviennent quant à eux, d'apports d'eau souterrains et des écoulements d'eau « superficiels – plans d'eau » provenant des lacs de Capy, du Castelet et des Maçons. A la différence du régime de moyennes eaux, le lac de Peyres Blanques n'est pas sollicité. Une part des apports d'eau du lac de Lagarde provient aussi des apports de pertes du canal entre les différentes zones de remblais et des écoulements de la nappe alluviale.

La zone d'appel des plans d'eau en amont s'étend sur une distance de 2 km entre les PK 237.500 et 239.500 au niveau de la ligne ferroviaire.

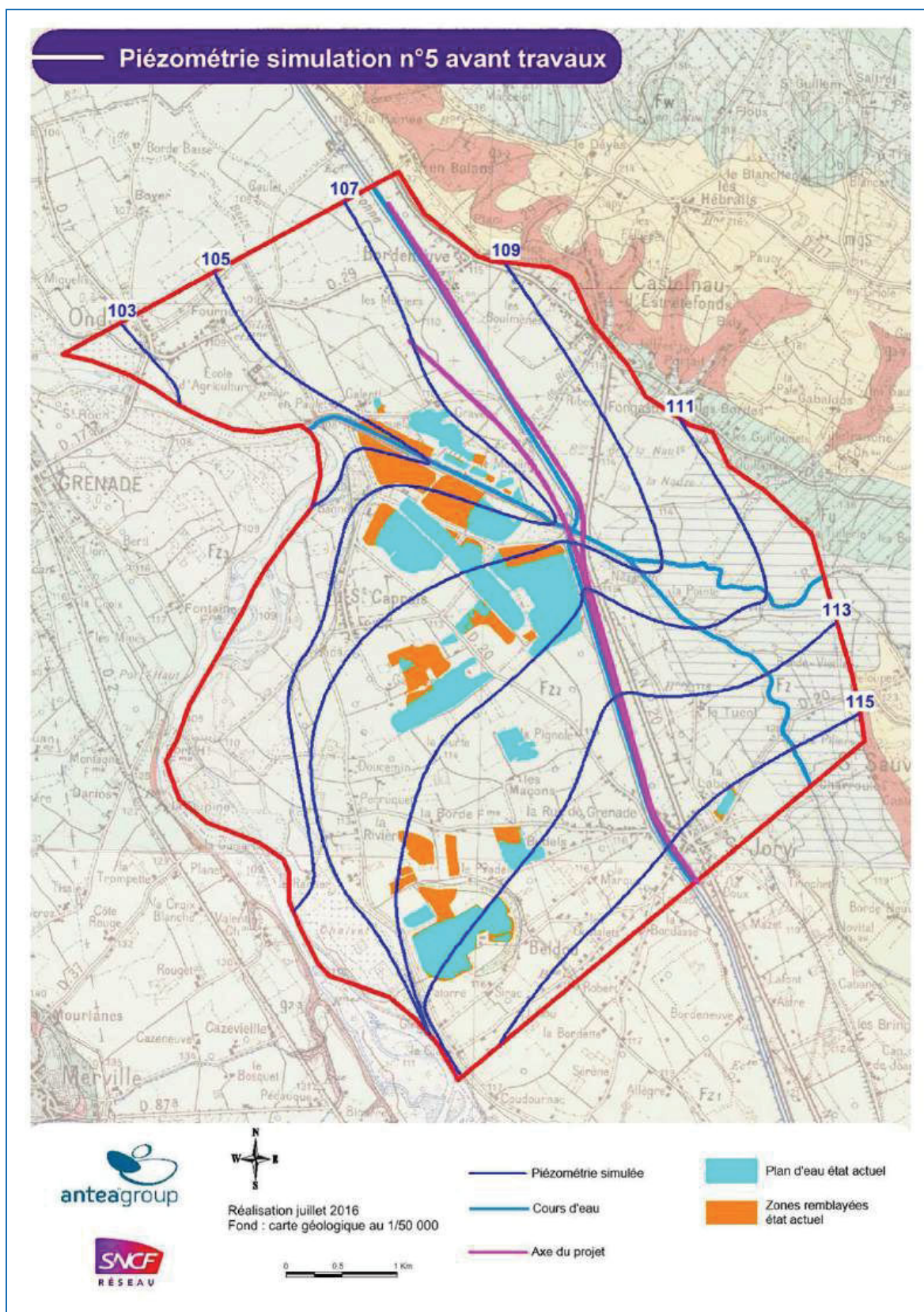


Figure 30 : Piézométrie simulation n°5 avant travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal

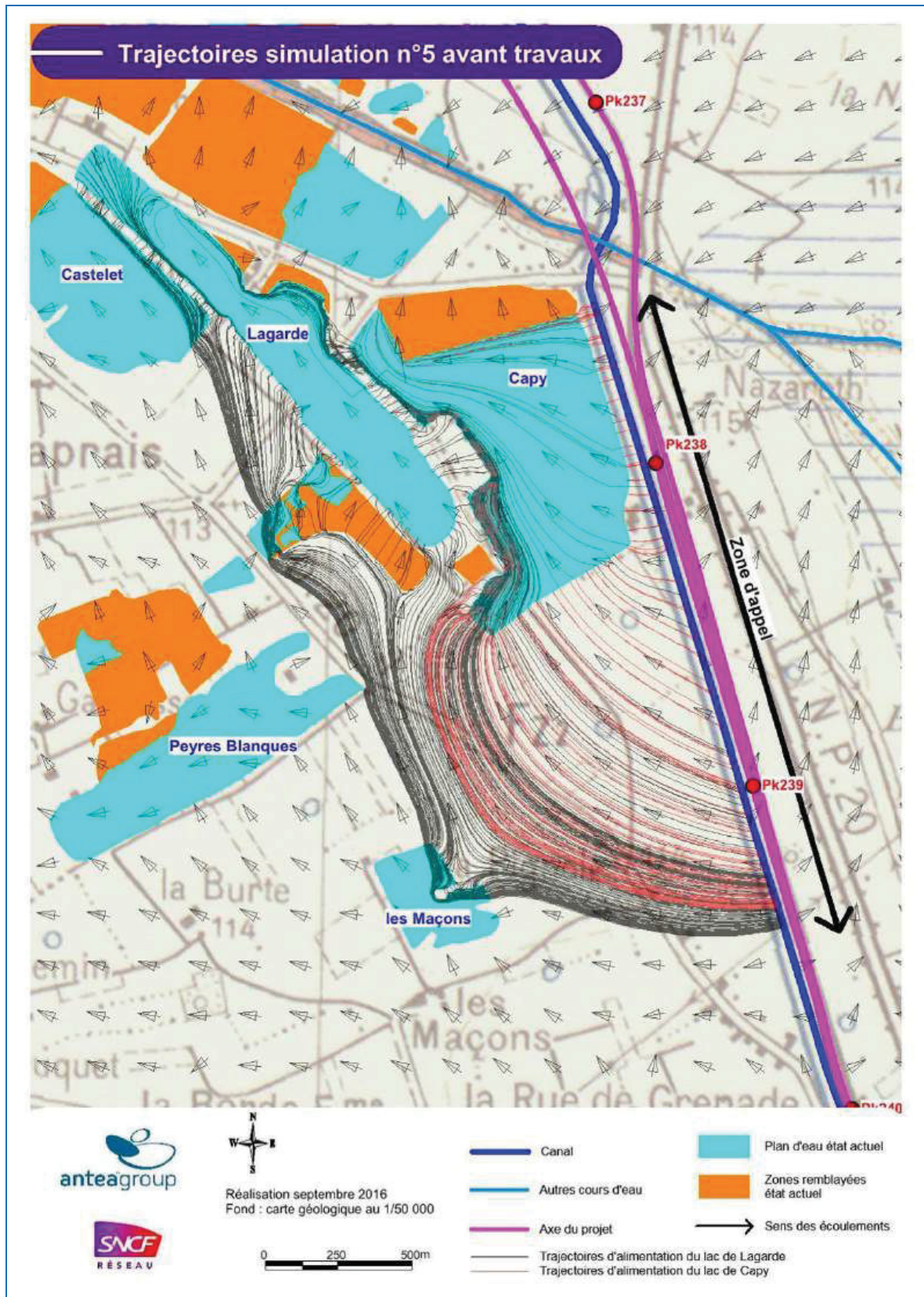


Figure 31 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°5 avant travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal

4.4.4. Impacts quantitatifs des travaux – simulation n°6

4.4.4.1. Hypothèses de la simulation n°6

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
6	Hydrodynamique	Permanent	Non	Très hautes eaux	Oui	Oui

Tableau 16 : Etat simulation n°6

Le détail des travaux modélisés correspond, à celui présenté au paragraphe 4.3.3.

4.4.4.2. Résultats de la simulation n°6

Dans cette configuration, les débordements induits par les travaux et les zones de drainage induisent un décalage important vers le sud-ouest des trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy. **Cependant, en période de très hautes eaux et d'écoulement dans le canal latéral à la Garonne, aucun prélèvement n'est réalisé dans les lacs.**

Les résultats de la simulation montrent que les niveaux piézométriques au niveau des aménagements ferroviaires dans le secteur des lacs de Lagarde et de Capy sont globalement situés au-dessus de la profondeur maximale atteinte par les aménagements linéaires (blindages et zones de drainage). Dans certains secteurs, notamment au sud du passage souterrain, des remontées importantes du niveau piézométriques sont simulées induisant des débits conséquents dans les zones de drainage.

Ainsi les débits drainés après aménagements en période de très hautes eaux et d'écoulement dans le canal latéral à la Garonne peuvent ponctuellement atteindre près de 600 m³/h sur le tronçon des PK 238.0 à 240.7. A noter que ces débits peuvent localement varier en fonction de la lithologie locale des formations rencontrées et de leurs perméabilités et que les cotes prises en compte pour les aménagements linéaires sont des cotes issues d'hypothèses majorantes et sécuritaires.

Tronçon	Profondeur d'eau minimale (m/sol)	Profondeur d'eau minimale sous les aménagements (-2,5 m/sol)	Débit de drainage (m ³ /h)
233.8 à 234.2	≈ 4,9	≈ 2,4	0
234.2 à 235.4	2,5 (drainage)	0,0	35 à 45
235.4 à 237.0 (ouvrage d'art)	≈ 2,2	≈ 4,7	0
237.5 (bassin de rétention) à 238.0	2,5 (drainage)	0,0	30 à 40
238.0 à 238.3 (passage souterrain A 238.3)	2,5 (drainage)	0,0	60 à 80
238.3 à 239.0	2,5 (drainage)	0,0	80 à 110
239.0 à 240	2,5 (drainage)	0,0	130 à 150
240 à 240.7	2,5 (drainage)	0,0	200 à 250

Tableau 17 : Profondeurs d'eau – simulation n°6 avec aménagements

En période de hautes eaux et hors chômage du canal, le risque quantitatif est limité.

Les débits de drainage attendus en période de très hautes eaux peuvent atteindre près de 600 m³/h (≈ 160 l/s) entre les pK 238.0 et 240.7. Les fossés de drainage ainsi que les ouvrages hydrauliques de rétention devront être dimensionnés en conséquence.

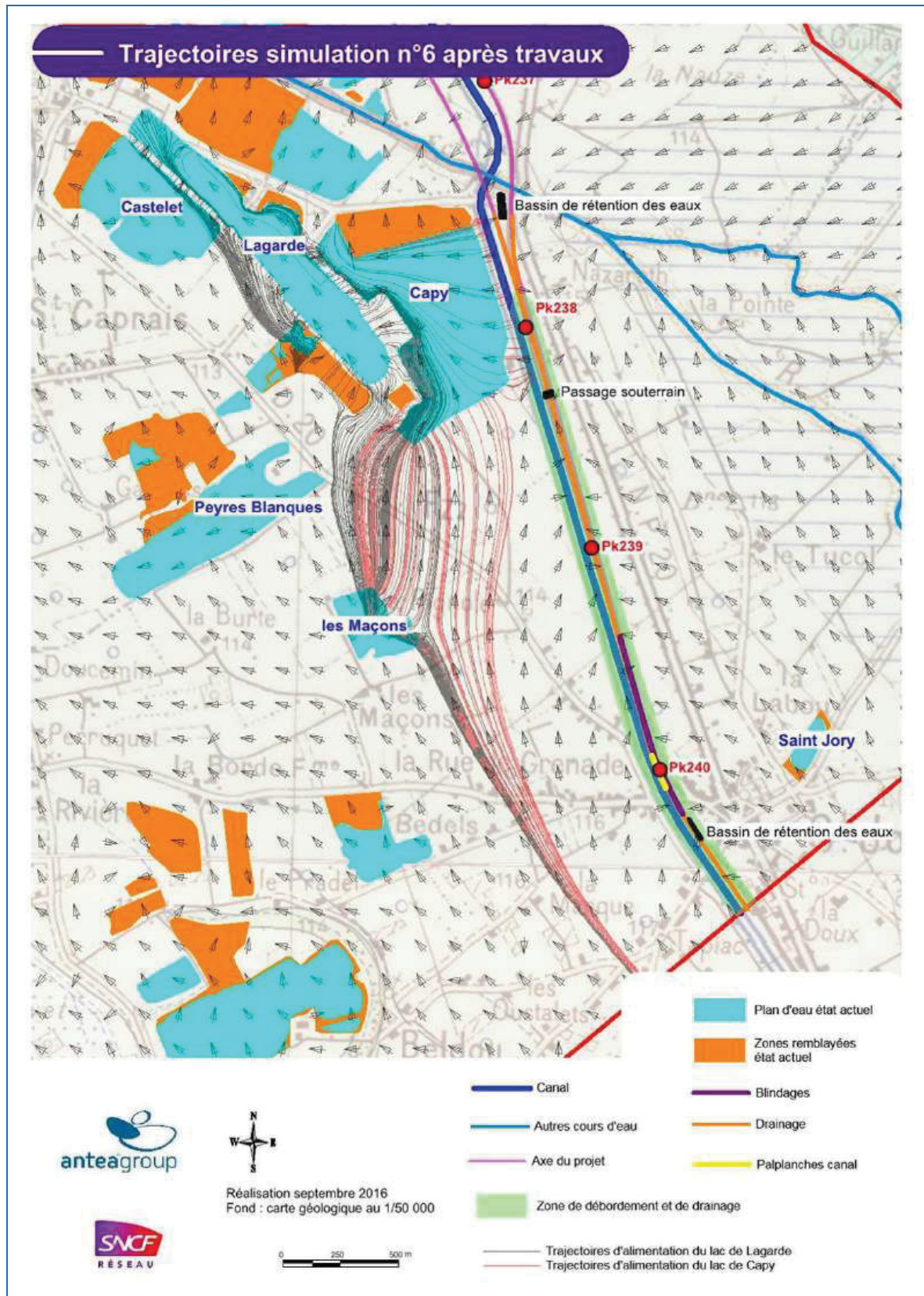


Figure 32 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°6 après travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal

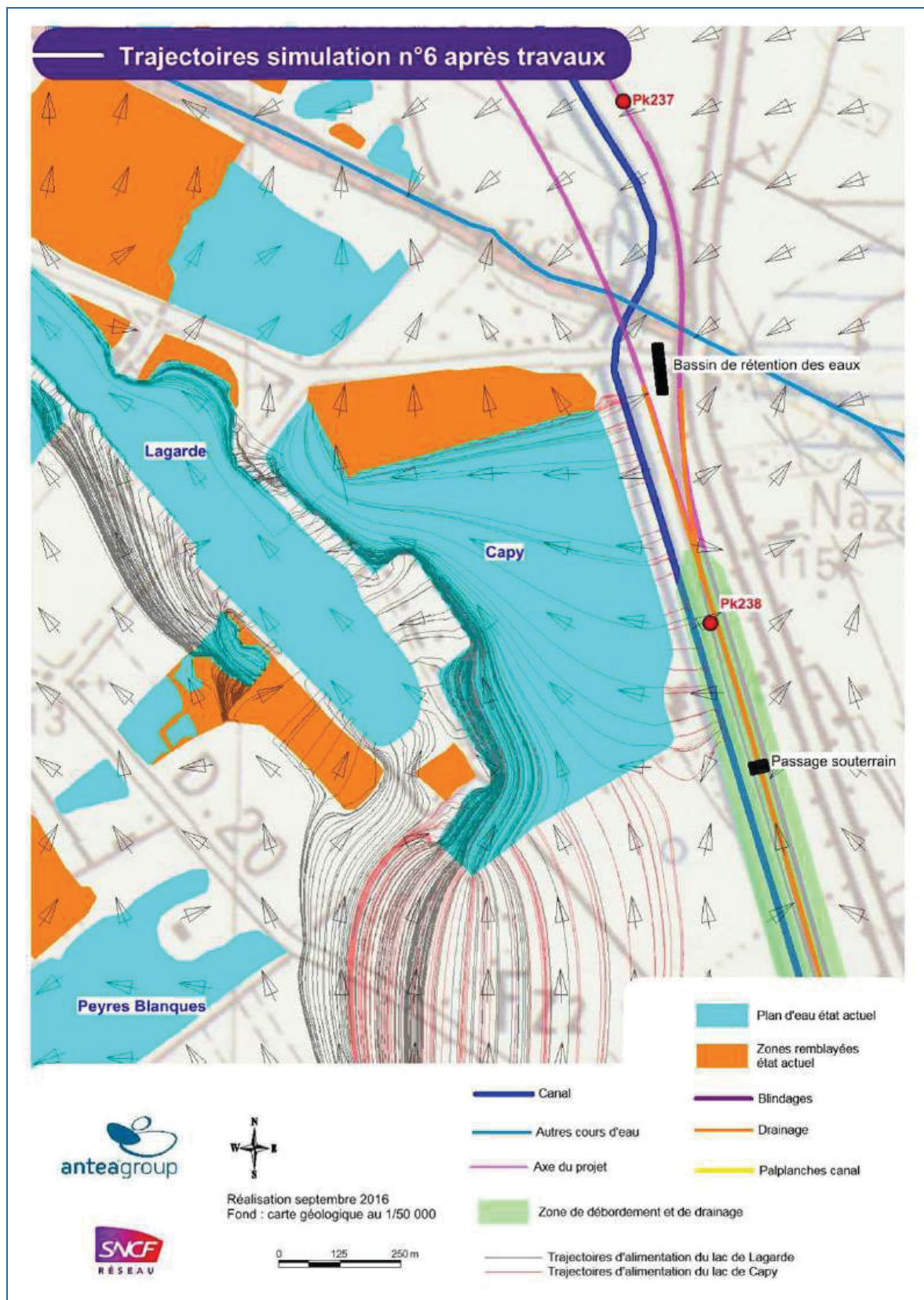


Figure 33 : Trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy – simulation n°6 après travaux – très hautes eaux et hors période de chômage du canal - zoom

4.4.5. Impacts qualitatifs des travaux – simulation n°7

4.4.5.1. Hypothèses de la simulation n°7

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
7	Hydrodispersive	Transitoire	Oui	Très hautes eaux	Oui	Non (uniquement passage souterrain)

Tableau 18 : Etat simulation n°7

Les caractéristiques de pas de temps, de porosité et de dispersivité sont identiques à ceux présentés au paragraphe 4.3.4. Ainsi une simulation d'une injection de 100 kg (capacité du réservoir d'huile d'une pelle mécanique) d'un polluant parfaitement miscible à l'eau, non dégradable, directement dans l'aquifère, au niveau du passage souterrain a été effectuée. **Il s'agit du cas le plus défavorable.** Aucun autre aménagement n'a été pris en compte pour cette simulation.

En période de hautes eaux, les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont effectués dans le canal latéral à la Garonne, ainsi pour les simulations en très hautes eaux aucun prélèvement dans les lacs de Lagarde et Capy n'a été simulé.

4.4.5.2. Résultats de la simulation n°7

Le graphique de la figure suivante présente l'évolution dans le temps des concentrations simulées :

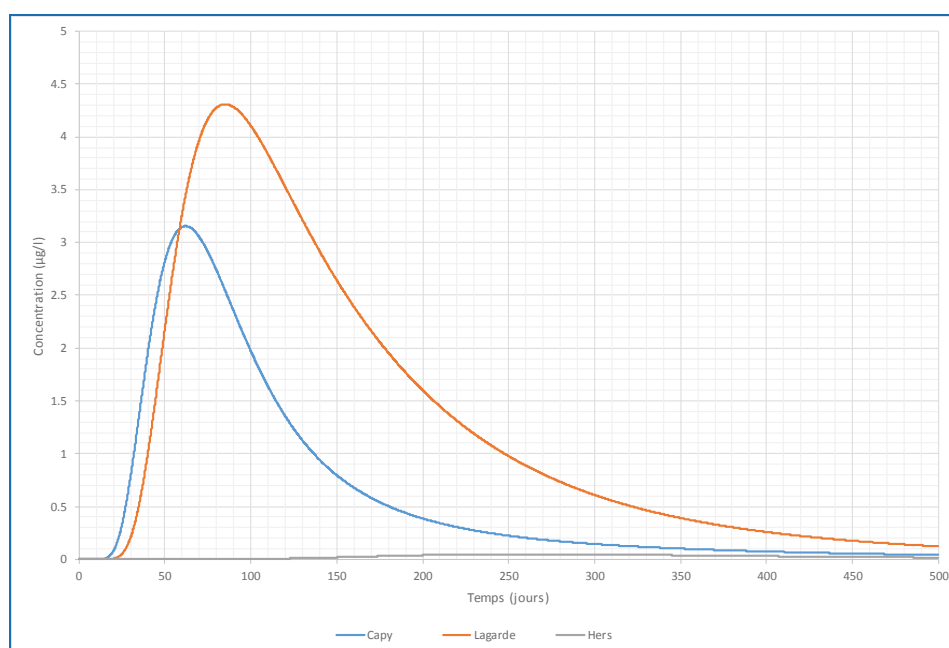


Figure 34 : Simulation n°7 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers

Les résultats obtenus montrent que :

- les temps d'apparition du polluant sont de l'ordre de 20 jours au lac de Capy et de 25 jours au lac de Lagarde ;
- le maximum de concentration (traceur parfait) est observé sur le lac de Capy au bout de 60 jours et atteint 3,2 µg/l. Au lac de Lagarde, le pic de concentration est simulé au bout de 85 jours et atteint 4,3 µg/l ;
- le temps de passage du polluant dans les lacs (< 0,1 µg/l) est de l'ordre de 350 jours au lac de Capy et supérieur à 500 jours au lac de Lagarde. A noter qu'aucune période de prélèvements dans les lacs n'a été simulée ;
- les concentrations des eaux de nappe se déversant dans l'Hers simulées sont inférieures à 0,1 µg/l.

Ces résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Point d'observation	Apparition du polluant (j)	Temps du maximum de concentration (j)	Maximum de concentration (µg/l)	Taux de dilution unitaire (l)
Centre du lac de Capy	20	60	3,2	$3,2 \cdot 10^{-11}$
Lac de Lagarde au niveau de la prise d'eau	25	85	4,3	$4,3 \cdot 10^{-11}$
L'Hers en aval du lac de Capy	/	/	/	/

Tableau 19 : Bilan de la simulation n°7 – très hautes eaux, phase travaux

Les taux de dilutions unitaires dans les lacs sont de l'ordre de $3,2 \cdot 10^{-11}$ à $4,3 \cdot 10^{-11}$ l, c'est-à-dire que pour une pollution de 300 kg ($3 \cdot 10^{11}$ µg), les concentrations maximales attendues au niveau des lacs, pour les mêmes conditions que celles des simulations, sont de l'ordre 9,9 µg/l pour le lac de Capy et de 12,9 µg/l pour le lac de Lagarde. Ces taux de dilution sont environ 1000 fois plus faibles (dilution plus importante) que pour la simulation n°3, en période de basses eaux. En effet, en période de très hautes eaux, pour une même masse injectée, le volume d'eau présent étant plus important, le polluant se retrouve dilué. L'influence des pertes du canal est importante car les lacs se situent du côté opposé de la ligne ferroviaire par rapport au canal. Ainsi, une partie importante du polluant se retrouve déviée en direction opposée aux lacs (inversement du gradient hydraulique au niveau du canal). De plus aucun prélèvement n'est effectué dans les lacs en très hautes eaux réduisant ainsi la vitesse d'arrivée du polluant.

Une pollution (déversement de 100 kg d'un polluant parfaitement miscible à l'eau et non dégradable, directement dans l'aquifère) au niveau de la création du passage souterrain, en période de très hautes eaux de nappe et d'absence de pompage dans les lacs de Capy et de Lagarde se traduit par des temps d'arrivée de l'ordre d'une vingtaine de jours, et une concentration de l'ordre de 4,3 µg/l se situant dans l'ordre de grandeur des normes de potabilité pour de nombreux composés. Des mesures de prévention (cf. paragraphe 5.3) devront cependant être mises en place en phase de travaux afin de limiter la diffusion d'une éventuelle pollution. Il est cependant important de garder à l'esprit que les hypothèses prises en compte pour la simulation sont fortement pénalisantes.

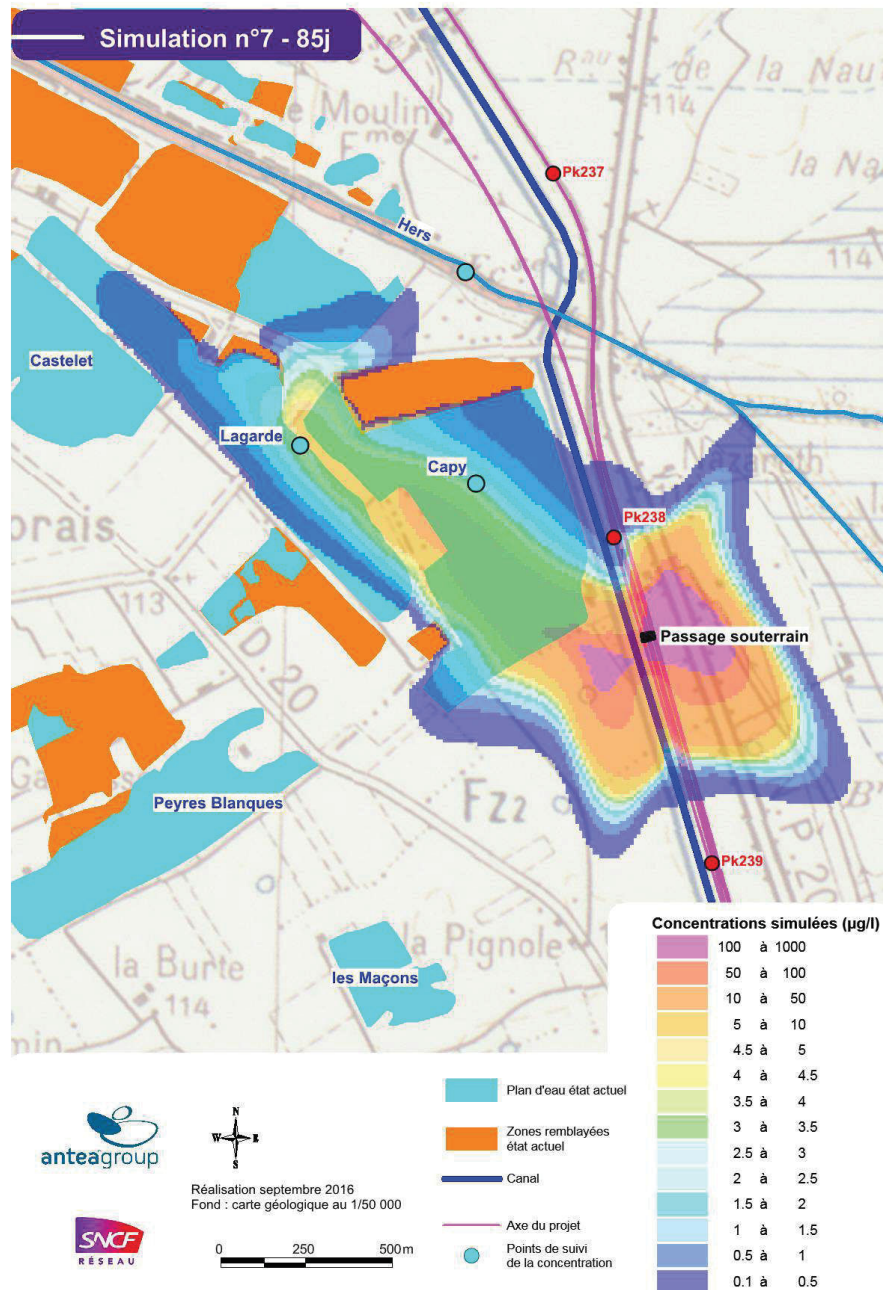


Figure 35 : Simulation n°7 - très hautes eaux, phase travaux, 85 j

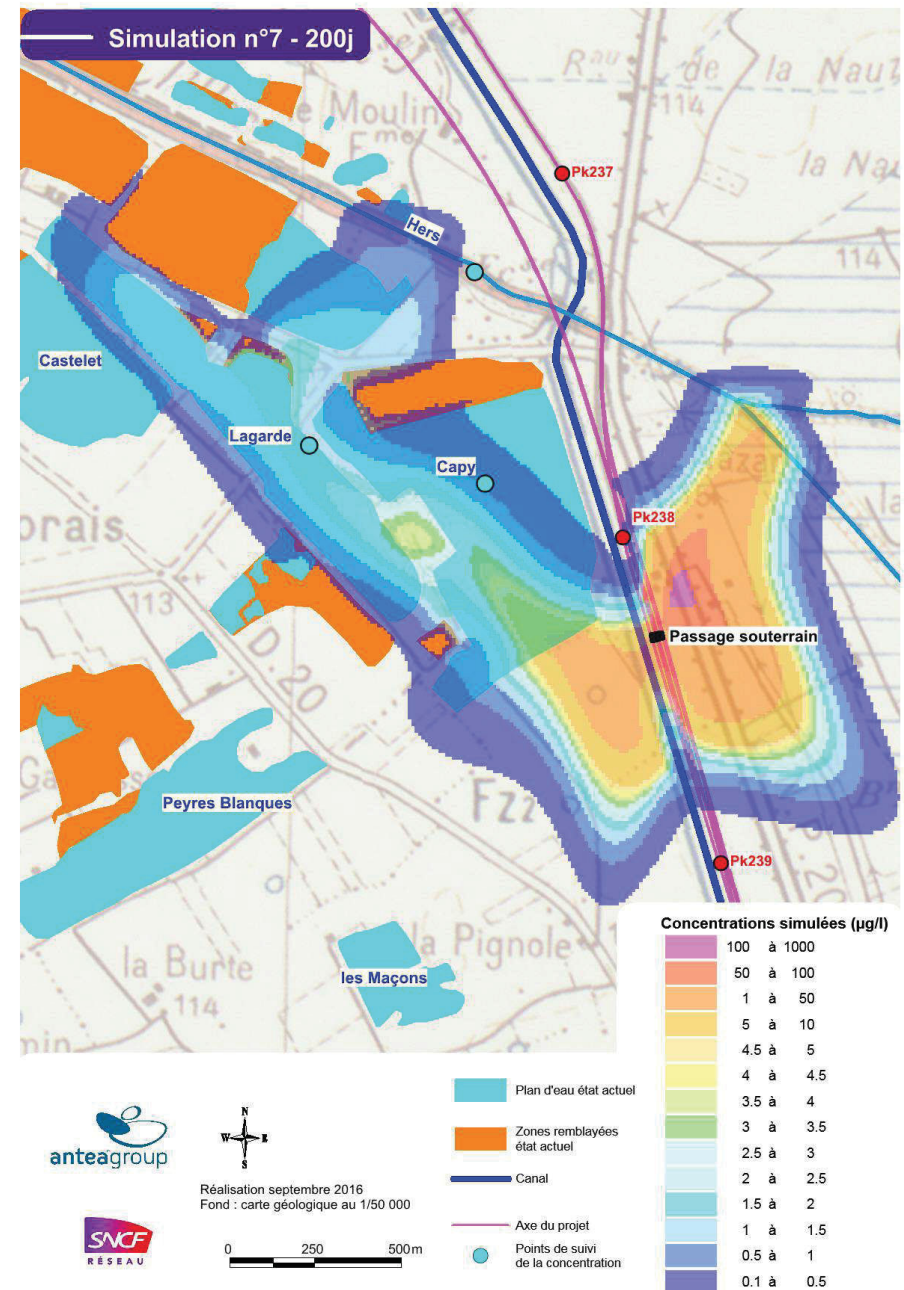


Figure 36 : Simulation n°7 - très hautes eaux, phase travaux, 200 j

4.4.6. Impacts qualitatifs en phase d'exploitation - simulation n°8

4.4.6.1. Hypothèses de la simulation n°8

N°	Type de modélisation	Régime hydraulique	Transport polluant	Période d'écoulement	Écoulement dans le canal	Travaux AFNT
8	Hydrodispersive	Transitoire	Oui	Très hautes eaux	Oui	Oui

Tableau 20 : Etat simulation n°8

En régime de très hautes eaux, une seconde simulation a été réalisée en phase d'exploitation de la ligne (prise en compte de l'ensemble des aménagements prévus). Ainsi un déversement de 1000 kg d'un polluant parfaitement miscible à l'eau, non dégradé directement dans l'aquifère, au niveau du PK 239.0 a été simulé pouvant correspondre à un déraillement d'un train suivi d'un renversement important d'une substance polluante.

En période de hautes eaux, les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont effectués dans le canal latéral à la Garonne, ainsi pour les simulations en très hautes eaux, aucun prélèvement dans les lacs de Lagarde et Capy n'a été simulé.

4.4.6.2. Résultats de la simulation n°8

Les résultats obtenus montrent que :

- les temps d'apparition du polluant sont de l'ordre de 90 jours pour les deux lacs ;
- le maximum de concentration (traceur parfait) est observé sur le lac de Capy au bout de 330 jours et atteint 0,36 µg/l. Au lac de Lagarde le pic de concentration est simulé au bout de 340 jours et atteint 0,7 µg/l ;
- le temps de passage du polluant dans les lacs (< 0,1 µg/l) est de l'ordre de 670 jours au lac de Capy et supérieur à 800 jours au lac de Lagarde. A noter qu'aucune autre période de prélèvements dans les lacs n'a été simulée ;
- les concentrations des eaux de nappe se déversant dans l'Hers simulées sont inférieures à 0,1 µg/l.

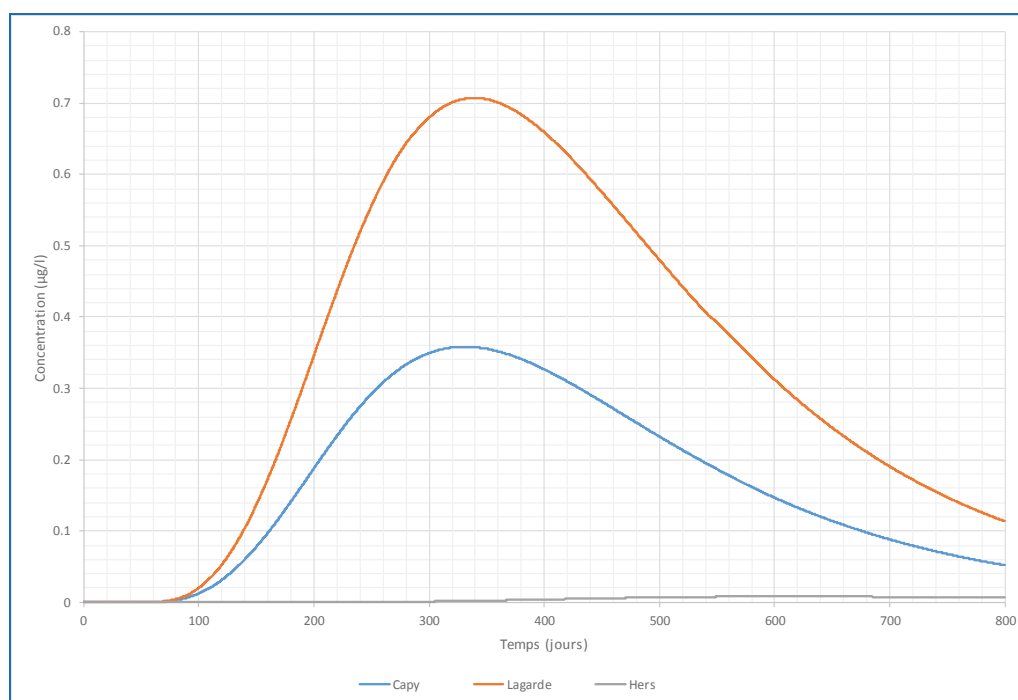


Figure 37 : Simulation n°8 - concentrations simulées au niveau des lacs de Capy, Lagarde et de l'Hers

Ces résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Point d'observation	Apparition du polluant (j)	Temps du maximum de concentration (j)	Maximum de concentration (µg/l)	Taux de dilution unitaire (l)
Centre du lac de Capy	90	330	0,4	4.10^{-12}
Lac de Lagarde au niveau de la prise d'eau	90	340	0,7	7.10^{-12}
L'Hers en aval du lac de Capy	/	/	/	/

Tableau 21 : Bilan de la simulation n°8 – très hautes eaux, phase d'exploitation

Les taux de dilutions unitaires dans les lacs sont de l'ordre de 4.10^{-12} à 7.10^{-12} l, c'est-à-dire que pour une pollution de 3000 kg (3.10^9 mg), les concentrations maximales attendues au niveau des lacs, pour les mêmes conditions que celles des simulations, sont de l'ordre 1,2 µg/l pour le lac de Capy et de 3,1 µg/l pour le lac de Lagarde.

Ces taux de dilution sont environ 1000 fois plus faibles (dilution plus importante) que pour la simulation n°4, en période de basses eaux. En effet, en période de très hautes eaux, pour une même masse injectée, le volume d'eau présent étant plus important, le polluant se retrouve dilué. L'influence des pertes du canal est importante car les lacs se situent du côté opposé de la ligne ferroviaire par rapport au canal. Ainsi, une partie importante du polluant se retrouve déviée en direction opposée aux lacs (inversement du gradient hydraulique au niveau du canal). Des débits importants de débordement liés aux aménagements sont aussi simulés dans ce cas de figure, réduisant par conséquent les concentrations restantes en nappe. De plus, aucun prélèvement n'est effectué dans les lacs en très hautes eaux réduisant ainsi la vitesse d'arrivée du polluant.

Une pollution sur la ligne ferroviaire, en période d'exploitation de cette dernière (déversement de 1000 kg d'un polluant parfaitement miscible à l'eau et non dégradable, directement en nappe) au niveau du PK 239, en période de très hautes eaux de nappe et d'absence de pompage dans les lacs de Capy et de Lagarde se traduit par des temps d'arrivée de l'ordre de 90 jours, et une concentration atteignant 0,7 µg/l inférieure aux normes de potabilité pour de nombreux composés. Des mesures de prévention (cf. paragraphe 5.3) devront cependant être mises en place, en période d'exploitation afin de limiter l'infiltration et la diffusion d'une éventuelle pollution. Il est cependant important de garder à l'esprit que les hypothèses prises en compte pour la simulation sont fortement pénalisantes.

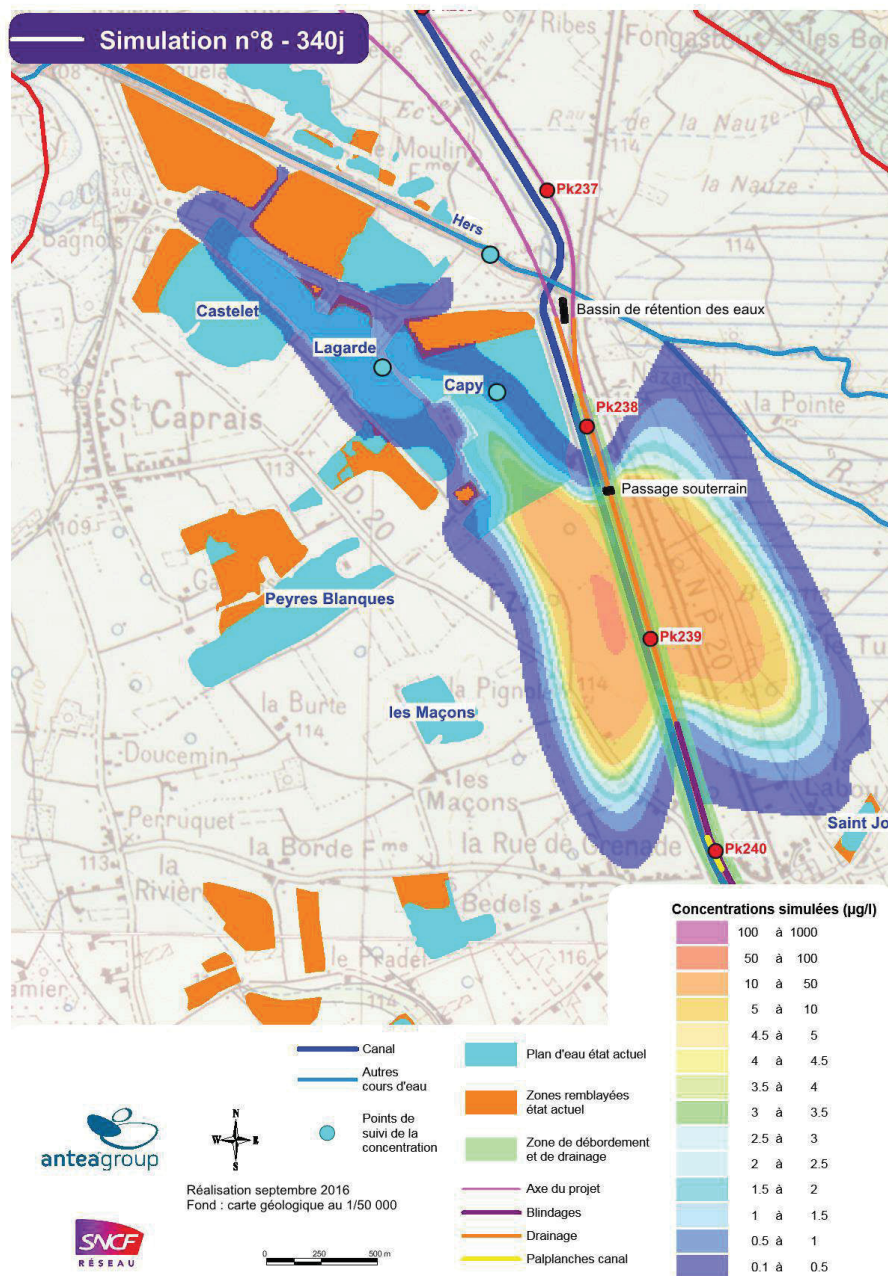


Figure 38 : Simulation n°8 - très hautes eaux, phase d'exploitation, 340 j

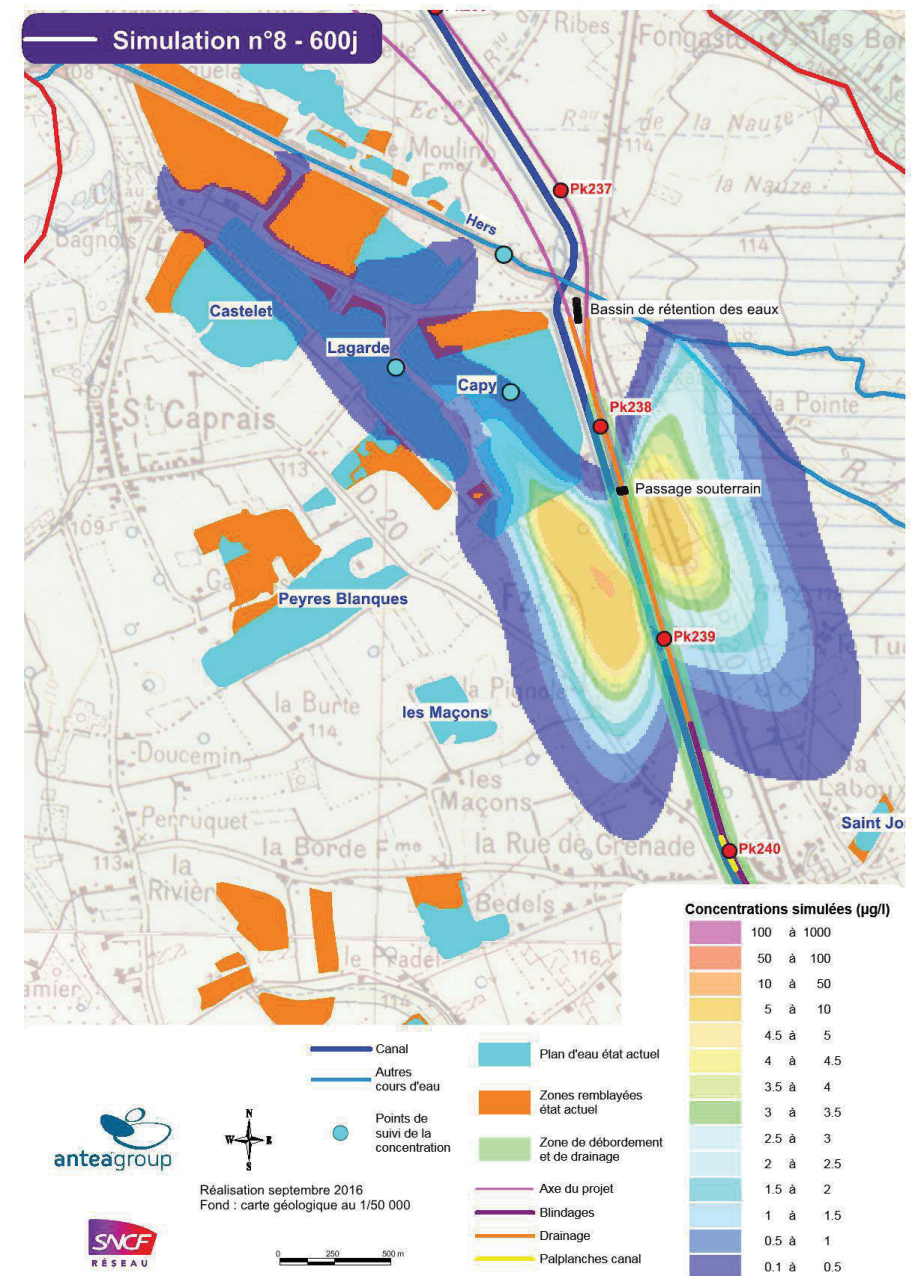


Figure 39 : Simulation n°8 - très hautes eaux, phase d'exploitation, 600 j

4.4.7. Impacts d'une pollution dans le canal latéral à la Garonne

Les mesures de débit effectuées sur le canal latéral à la Garonne à proximité de la prise pour l'eau potable (en cours d'utilisation en très hautes eaux) montrent une vitesse de l'écoulement de l'ordre de 0,2 m/s. Ainsi, pour une pollution du canal en période de travaux au niveau du passage souterrain, c'est-à-dire 900 m en amont de la prise d'eau, le nuage de polluant atteindrait la prise d'eau en 70 minutes.

Pour une pollution en exploitation, au niveau du PK 239.0, c'est-à-dire à 1600 m de la prise d'eau, le nuage de polluant atteindrait la prise d'eau en 130 minutes.

En cas de pollution du canal, les temps d'arrivée à la prise d'eau sont de l'ordre d'une à deux heures, il est donc nécessaire de mettre en place des mesures visant à réduire au maximum les risques de pollution sur le canal latéral à la Garonne (cf. paragraphe 5.3).

5. Conclusion et préconisations

5.1. Trajectoires d'alimentation et recharge des lacs de Lagarde et de Capy

Afin d'étudier les contraintes liées au projet d'aménagement ferroviaire sur la ressource en eau superficielle et souterraine du secteur nord toulousain, une modélisation hydrodynamique et hydrodispersive a été mise en œuvre.

Cette modélisation a permis de préciser les sens d'écoulements de la nappe alluviale, plus particulièrement au niveau des lacs de Lagarde et de Capy, en période de basses eaux et de chômage du canal latéral à la Garonne, puis en période de hautes eaux et de mise en eau du canal.

Il ressort qu'en période de basses eaux et d'absence d'écoulement dans le canal, les apports d'eau du lac de Capy proviennent d'une zone située au sud du lac de Saint-Jory (simulation n°1). Les apports d'eau du lac de Lagarde proviennent quant à eux d'apports d'eau souterraine puis des écoulements « superficiels – plans d'eau » provenant des lacs de Capy, du Castelet, de Peyres Blanques et des Maçons. La zone d'appel des plans d'eau recoupe le tracé ferroviaire entre les PK 238.100 et 240.500. A noter que la zone remblayée située en aval immédiat du lac de Capy présente un obstacle important et perpendiculaire aux écoulements. Les écoulements doivent donc contourner cette zone remblayée. Ainsi des écoulements vers l'ouest (lac de Lagarde) sont simulés, mais aussi des écoulements vers l'est en bordure est du lac de Capy, réduisant ainsi la zone d'appel du lac en bordure de ce dernier.

La durée maximale de prélèvement calculée est au maximum de 1,5 mois pour un prélèvement atteignant 35 000 m³/j et de 2 mois jours pour un prélèvement de 28 000 m³/j en période de basses eaux et de chômage du canal.

Les travaux prévus (simulation n°2) induisent, notamment au sud du passage souterrain, des remontées importantes du niveau aquifère se traduisant par des débits de drainage de l'ordre de 120 m³/h sur l'ensemble du linéaire modélisé. Ces débordements provoquent un décalage vers le sud-ouest des trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy. Cependant, l'alimentation en eau des plans est similaire ainsi que la durée maximale de prélèvement.

Les hypothèses prises en compte pour l'introduction des aménagements dans le modèle sont pénalisantes et sécuritaires (profondeurs systématiquement majorées, cas extrême de très basses eaux conjoint à une période de chômage du canal...). En réalité de nombreuses substances sont peu miscibles à l'eau, les déversements se font en surface et non directement dans l'aquifère ce qui permet d'en récupérer une majeure partie avant l'infiltration, des phénomènes de biodégradation peuvent intervenir ... Les temps d'arrivée et les concentrations maximales calculées sont donc fortement sécuritaires.

En période de très hautes eaux et d'écoulement dans le canal latéral à la Garonne (simulation n°5), les apports d'eau du lac de Capy s'effectuent à partir des pertes du canal et des écoulements de la nappe alluviale. Les apports d'eau du lac de Lagarde

proviennent quant à eux, d'apports d'eau souterrains et des écoulements d'eau « superficiels – plans d'eau » provenant des lacs de Capy, du Castelet et des Maçons. Une part des apports d'eau du lac de Lagarde provient aussi, directement des pertes du canal, entre les différentes zones de remblais. La zone d'appel des plans d'eau en amont s'étend sur une distance de 2 km entre les PK 237.500 et 239.500 au niveau de la ligne ferroviaire.

Dans cette configuration les travaux prévus (simulation n°6) induisent des débordements importants au niveau des zones de drainage (pouvant atteindre 600 m³/h) entraînant un décalage vers le sud-ouest de la zone d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy. Cependant, en période de très hautes eaux, les prélèvements pour l'alimentation en eau potable s'effectuent à partir du canal latéral à la Garonne, ainsi les travaux prévus en nappe alluviale présentent un risque quantitatif nul sur l'alimentation en eau potable.

5.2. Impacts qualitatifs d'une éventuelle pollution

Les principaux travaux effectués sous le niveau piézométrique concernent la création du bassin de rétention des eaux pluviales situé à proximité du lac de Capy et celle du passage souterrain. Le tracé des trajectoires d'alimentation des lacs de Lagarde et de Capy avant la mise en place des aménagements, que ce soit en période de basses ou de très hautes eaux, met en évidence que le risque principal est lié à la création du passage souterrain.

Ainsi des simulations ont été effectuées en réalisant une injection directement dans l'aquifère d'un polluant « parfait », totalement miscible à l'eau et ne se dégradant pas. Pour les simulations en régime de basses eaux, une période de prélèvement maximal de 60 jours à 28 000 m³/h répartie sur les lacs de Lagarde et de Capy et commençant au moment du déversement simulé du polluant a aussi été prise en compte. Il s'agit d'hypothèses très sécuritaires et très pénalisantes correspondant à un scénario le plus catastrophique possible.

Les résultats obtenus montrent que pour les hypothèses prises en compte, en période de basses eaux et de chômage du canal, une pollution au niveau de la zone de travaux du passage souterrain (simulation n°3) atteindrait les lacs dans un temps très court (1 à 3 jours). Les taux de dilutions simulés sont élevés (dilution faible), de l'ordre de 10⁻⁸ l, et les concentrations maximales importantes (de l'ordre du mg/l pour un déversement de 100 kg), très supérieures aux normes de potabilité pour de nombreux paramètres. Le temps de passage du nuage est supérieur à 500 jours.

En période de hautes eaux et d'écoulement dans le canal (simulation n°7), les temps d'arrivée sont plus élevés (de l'ordre d'une vingtaine de jours) et les taux de dilution environ 1000 fois plus faibles (dilution plus importante) liés notamment à l'influence des apports par les fuites du canal.

Deux simulations ont aussi été réalisées en période de basses eaux et de chômage du canal (simulation n°4) et en période de très hautes eaux et d'écoulement dans le canal (simulation n°8) pour un déversement accidentel résultant du déraillement d'un train en période d'exploitation de la ligne ferroviaire (travaux terminés). Ces simulations montrent des temps d'arrivée du polluant de plus de 200 jours en période de basses eaux et de plus de 300 jours en période de hautes eaux. Les taux de dilution sont en période de basses eaux de l'ordre de 10⁻⁹ l et en période de très hautes eaux de l'ordre

de 5.10^{-12} l. En basses eaux, les concentrations maximales pour un déversement de 1000 kg sont de l'ordre du mg/l pour des concentrations de l'ordre du µg/l en très hautes eaux (influence importante des pertes du canal).

5.3. Mesures préconisées

5.3.1. Aspect quantitatif

D'un point de vue quantitatif, il n'est pas simulé d'impact important des travaux sur l'alimentation en eau des lacs de Lagarde et de Capy. Ainsi, il n'est pas préconisé de mesure spécifique.

A noter un décalage vers le sud-ouest des trajectoires d'alimentation des lacs induites par des débordement simulés aux niveaux des zones de drainage. Cependant, les aménagements pris en compte pour la modélisation présentent des dimensions sécuritaires. Il est probable que le drainage réel soit moins important, entraînant ainsi un décalage plus faible des trajectoires.

5.3.2. Aspect qualitatif

5.3.2.1. Préconisations générales

D'un point de vue qualitatif, les impacts sur la ressource en eau potable peuvent être importants, autant en phase travaux, qu'en phase d'exploitation de la ligne ferroviaire.

Les préconisations générales devront être appliquées :

- afin de limiter les risques de pollutions accidentelles, les engins et les camions utilisés durant les travaux devront être en bon état et contrôlés régulièrement ;
- l'entretien des engins, leur alimentation en hydrocarbures ainsi que le stockage des carburants (exemple : fûts métalliques) devront se faire sur une aire étanche avec une zone de rétention prévue pour contenir un éventuel déversement de produit polluant ;
- les travaux seront conçus dans le respect du décret n°77-254 du 8 mars 1977 (abrogé par le décret n°2007-397 du 22 mars 2007) relatif à la réglementation du déversement des huiles et lubrifiants dans les eaux superficielles et souterraines (obligation de récupération, de stockage et d'élimination des huiles de vidange des engins) ;
- des produits absorbants seront disponibles sur le chantier afin de pouvoir intervenir immédiatement en cas de déversement accidentel d'huile, de graisse ou de carburant ;
- les principaux déchets générés sont des emballages, gravats, huiles, ferrailles... Pour éviter tout risque de pollution, une gestion maîtrisée des déchets devra être mise en place, avec en particulier un tri sur site. Des dispositifs de protection particuliers seront instaurés dans des sites sensibles.

5.3.3. Préconisations particulières

Plus spécifiquement, nous préconisons :

- d'adapter le planning des travaux situés entre les PK237.6 et 241.0. Le début de ces travaux devra s'effectuer à une date la plus proche possible de la fin du chômage du canal afin de bénéficier d'une durée longue hors période de prélèvements dans les lacs. Nous vous conseillons en préalable aux travaux, d'initier une concertation avec VNF afin d'optimiser au maximum les dates de chômage du canal et de début de travaux. Il est impératif d'éviter les travaux sous le niveau aquifère (création du passage souterrain et du bassin de rétention situé en aval du lac de Capy) en période de prélèvement dans les lacs ;
- afin de limiter au maximum les risques de pollution dans le canal latéral à la Garonne, aucun rejet ne devra être effectué dans le canal en amont de la prise d'eau. Les rejets s'effectueront dans l'Hers mort à l'aval du bassin de rétention situé au nord du lac de Capy. Ces rejets devront être maîtrisés. Un dispositif de filtration sera mis en place avant tout rejet d'eau de pompage. Ces équipements seront à renouveler régulièrement ;
- un diagnostic du barrage flottant déjà présent au niveau la prise d'eau du canal devra être réalisé. Ce dernier devra être opérationnel afin d'éviter toute contamination de la prise d'eau le temps du passage d'un éventuel panache de polluant ;
- en phase d'exploitation, entre les PK 237.600 et 241.000, un dispositif de sous-couche étanche située sous le ballast, associé à un réseau de fossés et de bassins de rétention étanches, devra être prévu le long de la voie ferroviaire permettant, en cas de déversement accidentel suite à un accident ferroviaire, la maîtrise des flux potentiellement polluants ayant pu se déverser au sol ;
- entre les PK 237.400 et 238.400 les aménagement de collecte des eaux pourront être associés à un dispositif empêchant, en cas d'accident ferroviaire, les éventuels wagons de se renverser vers le lac de Capy ;
- un plan d'intervention en cas de pollution accidentelle des eaux souterraines ou superficielles détaillé devra être établi. Il comprendra :
 - les modalités d'intervention des entreprises travaillant sur le chantier ;
 - un plan de localisation des différents appareils et dispositifs de lutte contre la pollution (produits absorbants, barrages flottants, pompes ...) ;
 - les numéros des services et organismes à appeler d'urgence en cas de non maîtrise de l'incident ;
 - les modalités de gestion de la ressource en eau potable. Ces dernières pourront être les suivantes :

Pollution dans le canal latéral à la Garonne en période d'exploitation pour l'eau potable	Pollution de nappe en période d'exploitation des lacs de Lagarde et Capy pour l'alimentation en eau potable
En cas de déversement accidentel dans le canal en période d'exploitation de ce dernier, une estimation du temps d'arrivée du nuage à la prise d'eau pourra être effectuée sur la base de la distance à la prise d'eau et d'une vitesse moyenne dans le canal de l'ordre de 0,2 m/s.	En cas de déversement accidentel en surface ou directement dans l'aquifère en période d'exploitation des lacs de Lagarde et Capy pour l'alimentation en eau potable, cette alimentation devra être coupée.
La prise d'eau devra être coupée et l'alimentation effectuée uniquement à partir du pompage dans les lacs de Lagarde et de Capy. A noter que les pertes diffuses du canal induiront une pollution des lacs (substances dissoutes uniquement). Cependant les vitesses d'eau dans le canal étant importantes, le temps de passage du nuage dans le canal au niveau de la prise d'eau sera plus court que celui de l'arrivée du polluant au niveau de la prise d'eau du lac de Lagarde. Dans la mesure du possible, le prélèvement devra s'effectuer uniquement dans le lac de Lagarde, la vanne le reliant au lac de Capy devra rester fermée.	En concertation avec VNF, des mesures devront être prises afin de pouvoir rétablir l'écoulement dans le canal et pouvoir utiliser la prise d'eau dans le canal pour l'eau potable dans un délai de 24 à 48 h (phase travaux) et 15 à 20 jours en phase d'exploitation de la ligne.
Des analyses régulières devront être effectuées à une cadence définie par l'ARS, dans le canal latéral au niveau de la prise d'eau ainsi que dans les lacs de Lagarde et de Capy .	Des analyses régulières devront être effectuées à une cadence définie par l'ARS, dans le canal latéral au niveau de la prise d'eau ainsi que dans les lacs de Lagarde et de Capy.
Une fois, les concentrations dans le canal revenues à la normale, l'alimentation en eau s'effectuera de nouveau à partir de la prise sur le canal latéral à la Garonne .	
Des analyses régulières devront continuer à être effectuées dans les lacs et le canal.	

A noter qu'au vu des contraintes liées à l'alimentation en eau potable et au linéaire de travaux prévus en amont de la prise pour l'eau potable actuelle sur le canal latéral à la Garonne, il ne nous paraît pas opportun de prévoir un déplacement de cette dernière (fortes contraintes techniques et réglementaires et possibilité de bascule de l'alimentation en eau potable vers les lacs de Lagarde et de Capy le temps du passage du nuage de polluant).

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Annexe 1.
Résultats détaillés des mesures de débit effectuées
sur le canal latéral à la Garonne en mai 2016

Rapport de mission d'hydrométrie Canal latéral de la Garonne – 26/05/2016



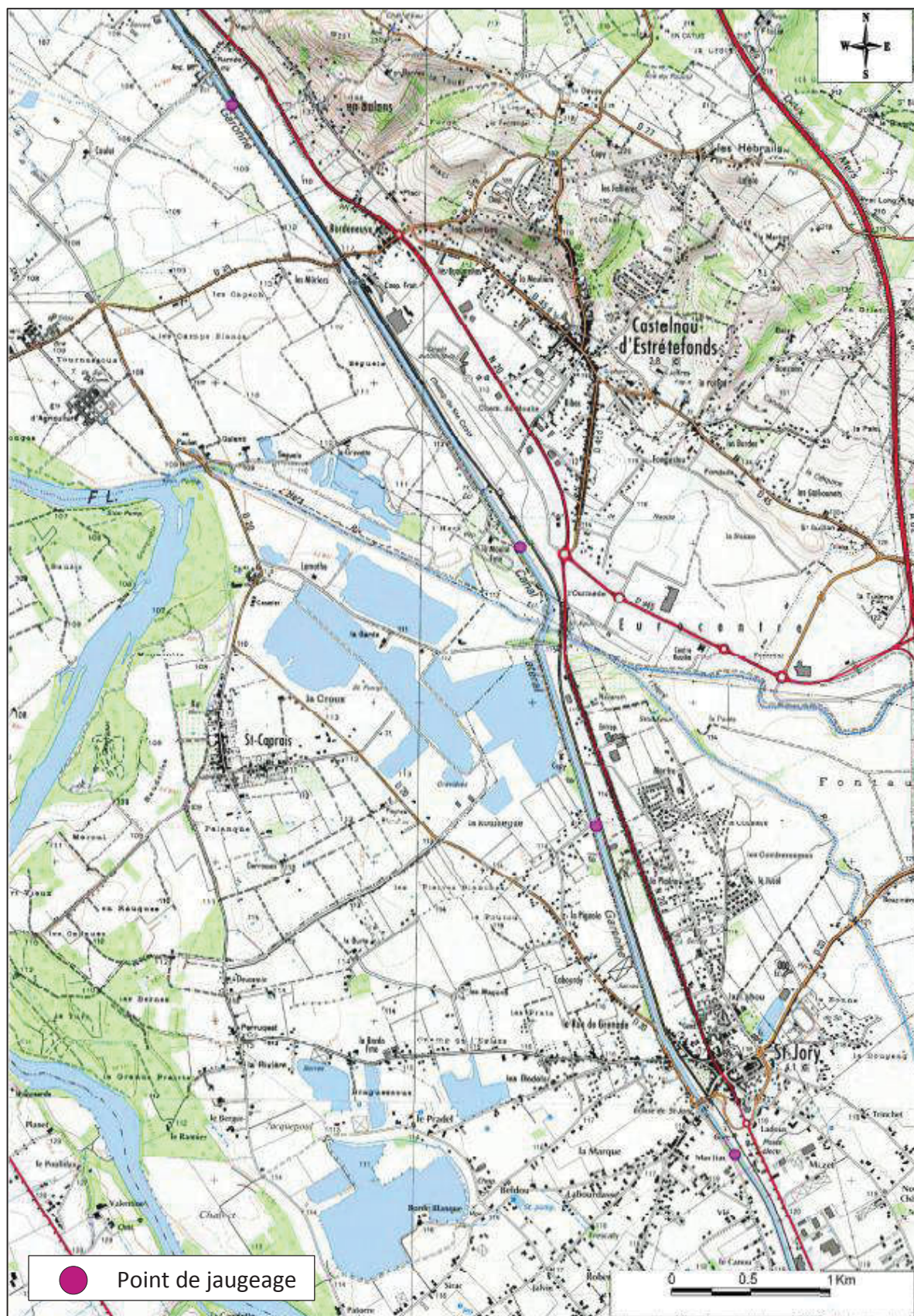
Eaucéa, société spécialisée dans les questions d'hydrométrie en milieu naturel à vocation hydrologique, hydraulique et écologique propose une prestation de jaugeages et de diagnostics hydrauliques complets, s'appuyant sur le meilleur moyen de prospection disponible aujourd'hui sur le marché, et garantissant un accès aux sections inaccessibles par des moyens traditionnels. Le profileur de courant à effet Doppler mesure des profils verticaux de la vitesse de l'eau en utilisant l'énergie acoustique à ultrasons. Il est capable de déterminer simultanément le profil du cours d'eau et le profil vertical de la vitesse d'écoulement, tout en considérant la vitesse avec laquelle l'appareil lui-même traverse le cours d'eau ou le canal.

L'appareil est un profileur acoustique de courant à effet Doppler, modèle Riversurveyor S5 de marque SonTek.

L'objectif de la mission est de mesurer en plusieurs points le débit du canal latéral de la Garonne. La finalité étant de déterminer la présence éventuelle de fuites sur le tronçon étudié.

La mission réalisée le 26/05/2016 a permis de jaugeer le canal latéral de la Garonne à 4 endroits différents, définis et fournis par la société Antea.

Site des jaugeages





Section de jaugeage (17-30 mètres sur le tronçon étudié)

Les transects réalisés sont représentés en tirets jaunes.

Jaugeage 1 : amont de l'écluse de Saint Jory



Vue de l'amont du premier site de jaugeage



Vue de l'aval du premier site de jaugeage

Jaugeage 2 : Environ à mi-distance entre l'écluse de Saint Jory et l'écluse de l'Hers

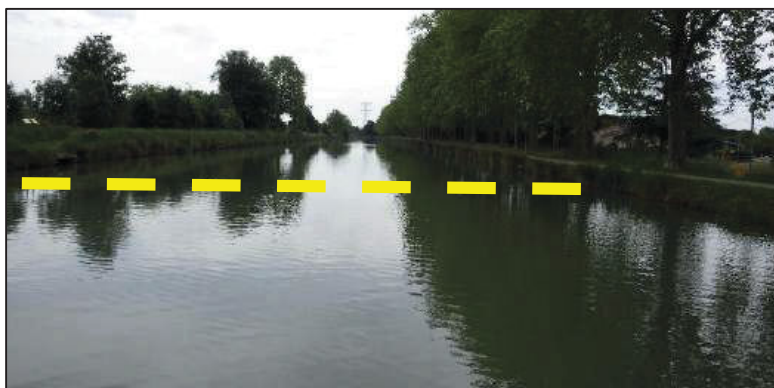


Vue de l'amont du deuxième site de jaugeage



Vue de l'aval du deuxième site de jaugeage

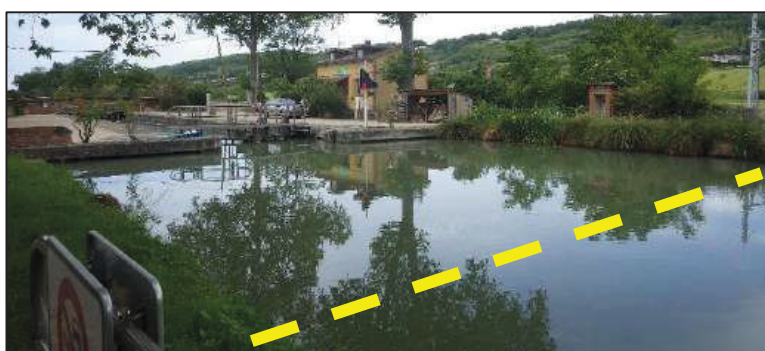
Jaugeage 3 : Entre l'écluse de l'Hers et l'écluse de la gare de fret



Vue de l'amont du troisième site de jaugeage



Vue de l'aval du troisième site de jaugeage

Jaugeage 4 : En amont de l'écluse de la Ramée*Vue de l'amont du quatrième site de jaugeage**Vue de l'aval du quatrième site de jaugeage***Synthèse des conditions et des résultats des jaugeages**

Les 26 jaugeages ont été réalisés en 4 points différents de mesure de l'amont de l'écluse de Saint Jory (site le plus en amont) à l'amont de l'écluse de la Ramée (site le plus en aval). Les 26 jaugeages couvrent des débits allant de 4,77 à 5,38 m³/s environ.

Les tableaux suivants présentent les résultats des jaugeages ainsi que leur interprétation en valeurs moyennes. Les jaugeages présentent une bonne cohérence globale. Les valeurs extrêmes (minimum et maximum) sont retirées afin d'obtenir une valeur de débit moyen fiable.

Jaugeage 1 : de 9H05 à 09H20

Amont de l'écluse de Saint Jory Transect de 19 m de large	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{er} jaugeage	27.464	0.193	5.292
2 ^{ème} jaugeage	27.301	0.191	5.206
3 ^{ème} jaugeage	27.388	0.188	5.149
4 ^{ème} jaugeage	27.006	0.199	5.375
5 ^{ème} jaugeage	27.526	0.189	5.209
6 ^{ème} jaugeage	27.347	0.197	5.381
Moyenne des jaugeages (en éliminant les valeurs extrêmes)	27.32	0.19	5.27

Jaugeage 2 : de 10H12 à 10H36

Entre l'écluse de Saint Jory et l'écluse de l'Hers - Transect de 21 m de large	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{er} jaugeage	24.967	0.206	5.134
2 ^{ème} jaugeage	25.480	0.204	5.186
3 ^{ème} jaugeage	25.124	0.202	5.072
4 ^{ème} jaugeage	25.324	0.196	4.959
5 ^{ème} jaugeage	25.396	0.205	5.217
6 ^{ème} jaugeage	25.691	0.210	5.383
7 ^{ème} jaugeage	25.575	0.208	5.308
8 ^{ème} jaugeage	25.364	0.207	5.247
Moyenne des jaugeages (en éliminant les valeurs extrêmes)	25.32	0.21	5.19

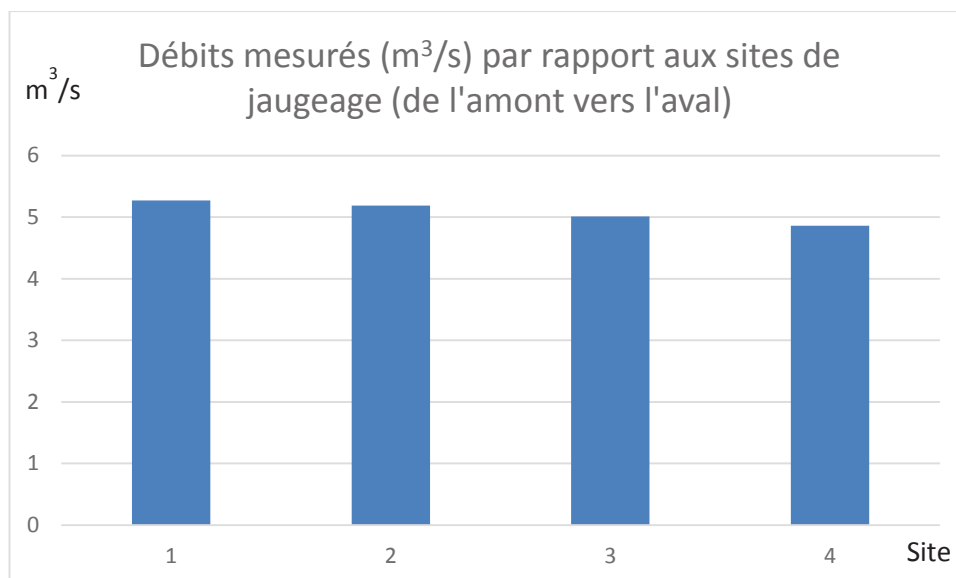
Jaugeage 3 : de 11H49 à 12H22

Entre l'écluse de l'Hers et l'écluse de la gare de fret - Transect de 30 m de large	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{er} jaugeage	44.388	0.116	5.144
2 ^{ème} jaugeage	44.252	0.109	4.823
3 ^{ème} jaugeage	44.125	0.111	4.879
4 ^{ème} jaugeage	43.402	0.115	4.988
5 ^{ème} jaugeage	44.005	0.122	5.352
6 ^{ème} jaugeage	43.417	0.115	5.010
Moyenne des jaugeages (en éliminant les valeurs extrêmes)	43.83	0.11	5.01

Jaugeage 4 : de 14H44 à 15H04

En amont de l'écluse de la Ramée - Transect de 20 m de large	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{er} jaugeage	28.140	0.175	4.932
2 ^{ème} jaugeage	28.148	0.169	4.770
3 ^{ème} jaugeage	28.351	0.166	4.707
4 ^{ème} jaugeage	28.337	0.170	4.810
5 ^{ème} jaugeage	28.768	0.171	4.924
6 ^{ème} jaugeage	28.807	0.171	4.918
Moyenne des jaugeages (en éliminant les valeurs extrêmes)	28.52	0.17	4.86

Le graphique suivant présente les résultats des jaugeages sur les 4 sites étudiés.



Sur l'ensemble du tronçon étudié, la perte de débit s'élève à $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 7,8 % du débit initial. La perte de débit entre le site 1 et 2 est $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$, celle entre le site 2 et 3 de $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ et celle entre le site 3 et 4 est de $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$. La perte la plus importante se situe donc sur le tronçon entre le site de jaugeage 2 et 3.

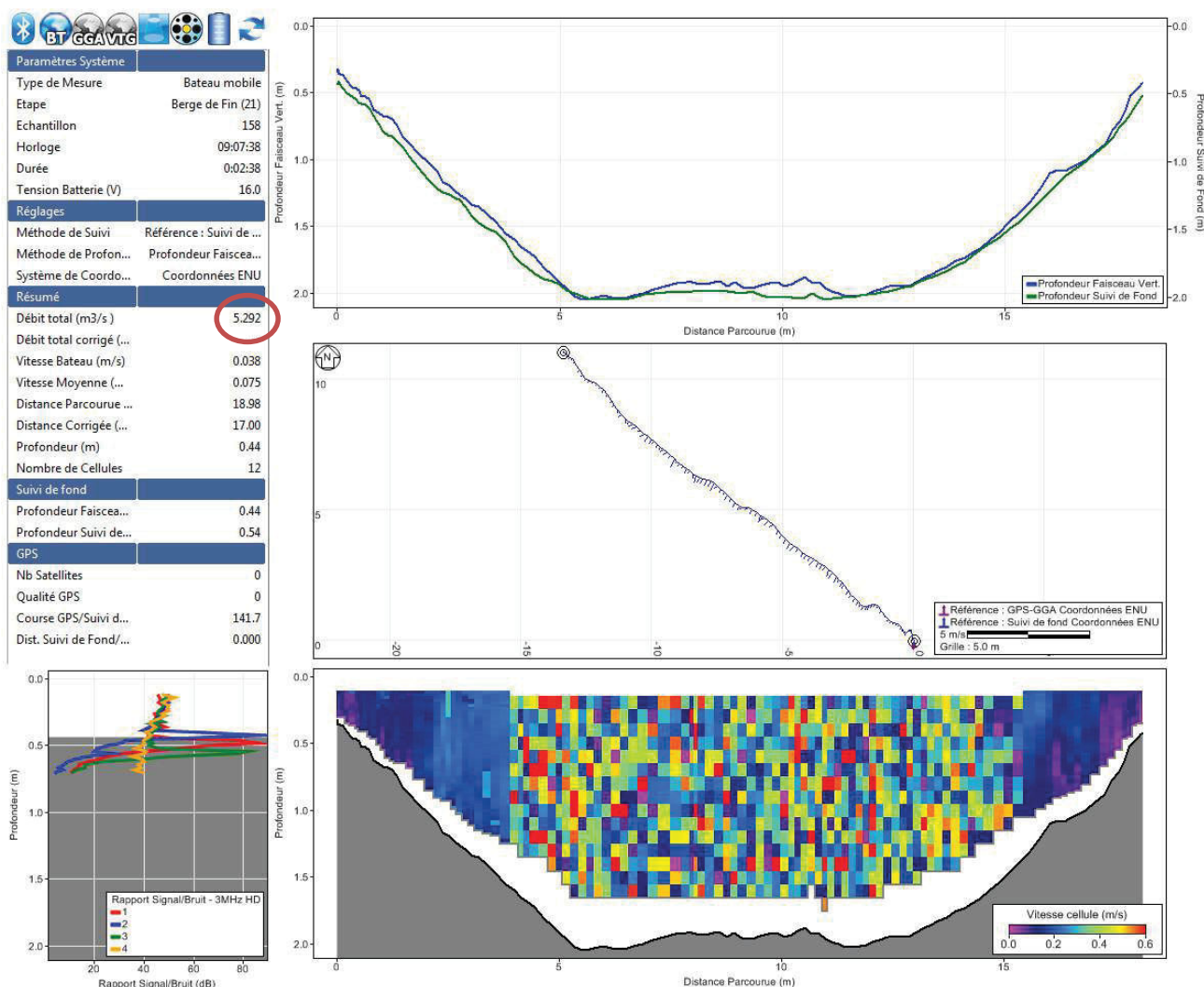
Ce constat peut être expliqué par la présence d'une prise d'eau au niveau du canal en amont immédiat du pont sur l'Hers pour l'alimentation en eaux brutes de l'usine d'eau potable voisine (voir photo ci-après). Cette prise d'eau est située en rive gauche. La prise d'eau était en fonctionnement le jour des mesures



Prise d'eau pour l'alimentation en eau brute de l'usine d'eau potable voisine

Résultats détaillés bruts

Les pages suivantes regroupent les tableaux complets de synthèse des résultats. Ci-dessous, une illustration des sorties graphiques d'un jaugeage.



Les mesures ont **toutes** été validées a posteriori, et ajustées ou supprimées si nécessaire.

Elles sont résumées dans les tableaux ci-après.

Jaugeage 1

Résumé de Mesure															Date de mesure : jeudi 26 mai 2016		
Informations sur le Site								Informations sur la Mesure									
Nom du Site								Opérateurs									
Numéro de Station								Embarcation / Moteur									
Localisation								Numéro de Mesure									
Informations sur le Système				Réglages Système				Unités									
Type de système R5-S5				Enfoncement du Capteur (m) 0.05				Distance m									
Numéro de série 1969				Salinité (ppt) 0.0				Vitesse m/s									
Version du Firmware 3.96				Déclinaison Magnétique (degrés) 0.0				Surface m2									
Version de RiverSurveyor Live 3.9.0								Débit m3/s									
								Température °C									
Réglages du Calcul de Débit								Résultats de Débit									
Méthode de Suivi Référence : Suivi de fond Méthode Berge de Gauche Berge Inclinée								Largeur (m) 19.194									
Méthode de Profondeur Profondeur Faisceau Vert. Méthode Berge de Droite Berge Inclinée								Section (m2) 27.339									
Système de Coordonnées Coordonnées ENU Type d'ajustement en Haut Coeff. ajustable								Vitesse Moyenne (m/s) 0.193									
Type d'ajustement du Fond Coeff. ajustable								Débit total (m3/s) 5.269									
								Profondeur Maximale Mesurée 2.082									
								Vitesse maximale mesurée 0.973									
Résultats de Mesure																	
N° Tr	Heure		Distance			Vit. moy.		Débit						%			
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré
1B	09:05:01	0:02:38	16.9	18.98	17.00	19.004	27.464	0.120	0.193	0.01	0.01	0.51	4.06	0.70	5.292	—	76.7
2B	09:08:03	0:02:43	16.7	19.33	17.53	19.527	27.301	0.119	0.191	0.01	0.01	0.50	4.01	0.68	5.206	—	77.0
3B	09:10:56	0:02:51	16.6	19.07	17.48	19.479	27.388	0.112	0.188	0.01	0.01	0.50	3.96	0.68	5.149	—	76.8
4B	09:13:58	0:02:24	16.5	18.03	17.02	19.016	27.006	0.125	0.199	0.01	0.01	0.51	4.14	0.71	5.375	—	77.0
5B	09:16:35	0:03:01	16.4	19.37	17.03	19.025	27.528	0.107	0.189	0.01	0.02	0.50	4.02	0.67	5.209	—	77.1
6B	09:19:46	0:02:35	16.4	19.11	17.11	19.109	27.347	0.123	0.197	0.01	0.01	0.52	4.11	0.73	5.381	—	76.3
		Moyenne	16.6	18.98	17.19	19.194	27.339	0.118	0.193	0.01	0.01	0.51	4.05	0.70	5.269	0.000	76.8
		Déviat. std	0.2	0.45	0.22	0.222	0.166	0.006	0.004	0.00	0.00	0.01	0.06	0.02	0.088	0.000	0.2
		Ecart Type	0.0	0.024	0.013	0.012	0.006	0.054	0.021	0.302	0.290	0.017	0.015	0.031	0.017	0.000	0.003
Durée d'utilisation : 0:16:12																	
Tr1=20160526090501.riv; Tr2=20160526090805.riv; Tr3=20160526091101.riv; Tr4=20160526091405.riv; Tr5=20160526091645.riv; Tr6=20160526091958.riv;																	
Commentaires																	
Tr1=20160526090501.riv - ; Tr2=20160526090805.riv - ; Tr3=20160526091101.riv - ; Tr4=20160526091405.riv - ; Tr5=20160526091645.riv - ; Tr6=20160526091958.riv - ;																	
Etalonnage du Compas																	
Etalonnage terminé																	
Erreur de cap: 0.00 deg																	
Ampleur moyenne: 0.00																	
Tangage: 0/0																	
Roulis: 0/0																	
Test du Système																	
Test Système : VALIDE																	

Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers

Rapport généré via SonTek RiverSurveyor Live v3.9.0

Jaugeage 2

Résumé de Mesure																		Date de mesure : jeudi 26 mai 2016	
Informations sur le Site										Informations sur la Mesure									
Nom du Site										Opérateurs									
Numéro de Station										Embarcation / Moteur									
Localisation										Numéro de Mesure									
Informations sur le Système					Réglages Système					Unités									
Type de système RS-55					Enfoncement du Capteur (m) 0.05					Distance m									
Numéro de série 1969					Salinité (ppt) 0.0					Vitesse m/s									
Version du Firmware 3.96					Déclinaison Magnétique (degrés) 0.0					Surface m2									
Version de RiverSurveyor Live 3.9.0										Débit m3/s									
										Température °C									
Réglages du Calcul de Débit										Résultats de Débit									
Méthode de Suivi Référence : Suivi de fond Méthode Berge de Gauche Berge Inclinée										Largeur (m) 20.671									
Méthode de Profondeur Profondeur Faisceau Vert. Méthode Berge de Droite Berge Inclinée										Section (m2) 25.365									
Système de Coordonnées Coordonnées ENU Type d'ajustement en Haut Coeff. ajustable										Vitesse Moyenne (m/s) 0.205									
Type d'ajustement du Fond Coeff. ajustable										Débit total (m3/s) 5.188									
										Profondeur Maximale Mesurée 2.236									
										Vitesse maximale mesurée 0.995									
Résultats de Mesure																			
N° Tr	Heure		Distance				Vit. moy.		Débit								q ₀		
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré		
1	10:12:14	0:02:51	16.6	19.18	18.10	20.101	24.967	0.112	0.206	0.01	0.01	0.49	3.88	0.74	5.134	—	75.5		
2	10:15:14	0:03:58	16.6	21.80	18.92	20.923	25.480	0.092	0.204	0.01	0.00	0.50	3.91	0.76	5.186	—	75.4		
3	10:19:30	0:02:36	16.6	20.22	18.66	20.600	25.124	0.130	0.202	0.01	0.00	0.51	3.79	0.76	5.072	—	74.7		
4	10:22:16	0:03:31	16.6	21.19	18.52	20.522	25.324	0.100	0.196	0.01	0.01	0.47	3.75	0.72	4.959	—	75.6		
5	10:26:04	0:02:54	16.6	20.58	18.99	20.992	25.396	0.118	0.205	0.02	0.01	0.51	3.90	0.78	5.217	—	74.8		
6	10:29:11	0:04:13	16.6	21.26	18.95	20.946	25.691	0.084	0.210	0.02	0.01	0.52	4.05	0.78	5.383	—	75.3		
7	10:33:35	0:02:29	16.6	19.87	18.92	20.915	25.575	0.133	0.208	0.02	0.01	0.52	3.99	0.77	5.308	—	75.1		
8	10:36:13	0:03:47	16.6	21.07	18.37	20.370	25.364	0.093	0.207	0.01	0.01	0.50	3.96	0.77	5.247	—	75.5		
		Moyenne	16.6	20.65	18.67	20.671	25.365	0.108	0.205	0.01	0.01	0.50	3.90	0.76	5.188	0.000	75.2		
		Déviat. std	0.0	0.80	0.31	0.305	0.219	0.017	0.004	0.00	0.00	0.02	0.09	0.02	0.125	0.000	0.3		
		Ecart Type	0.0	0.039	0.016	0.015	0.009	0.159	0.019	0.182	0.318	0.032	0.024	0.028	0.024	0.000	0.004		
Durée d'utilisation : 0:26:19																			
Tr1=20160526101214.riv ; Tr2=20160526101516.riv ; Tr3=20160526101936.riv ; Tr4=20160526102223.riv ; Tr5=20160526102615.riv ; Tr6=20160526102925.riv ; Tr7=20160526103353.riv ; Tr8=20160526103634.riv ;																			
Commentaires																			
Tr1=20160526101214.riv - ; Tr2=20160526101516.riv - ; Tr3=20160526101936.riv - ; Tr4=20160526102223.riv - ; Tr5=20160526102615.riv - ; Tr6=20160526102925.riv - ; Tr7=20160526103353.riv - ; Tr8=20160526103634.riv - ;																			
Etalonnage du Compas																			
Etalonnage terminé																			
Erreur de cap: 0.00 deg																			
Ampleur moyenne: 0.00																			
Tangage: 0/0																			
Roulis: 0/0																			
Test du Système																			
Test Système : VALIDE																			
Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers																			
Rapport généré via SonTek RiverSurveyor Live v3.9.0																			

Jaugeage 3

Résumé de Mesure																	Date de mesure : jeudi 26 mai 2016	
Informations sur le Site										Informations sur la Mesure								
Nom du Site										Opérateurs								
Numéro de Station										Embarcation / Moteur								
Localisation										Numéro de Mesure								
Informations sur le Système					Réglages Système					Unités								
Type de système RS-55					Enfoncement du Capteur (m) 0.05					Distance m								
Numéro de série 1969					Salinité (ppt) 0.0					Vitesse m/s								
Version du Firmware 3.96					Déclinaison Magnétique (degrés) 0.0					Surface m2								
Version de RiverSurveyor Live 3.9.0										Débit m3/s								
										Température °C								
Réglages du Calcul de Débit										Résultats de Débit								
Méthode de Suivi Référence : Suivi de fond Méthode Berge de Gauche Berge Inclinée										Largeur (m) 30.375								
Méthode de Profondeur Profondeur Faisceau Vert. Méthode Berge de Droite Berge Inclinée										Section (m2) 43.931								
Système de Coordonnées Coordonnées ENU Type d'ajustement en Haut Coeff. ajustable										Vitesse Moyenne (m/s) 0.115								
Type d'ajustement du Fond Coeff. ajustable										Débit total (m3/s) 5.033								
										Profondeur Maximale Mesurée 2.012								
										Vitesse maximale mesurée 0.968								
Résultats de Mesure																		
N° Tr	Heure		Distance			Vit. moy.		Débit							%			
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré	
1	11:49:30	0:06:16	17.1	31.41	28.75	30.745	44.388	0.084	0.116	0.01	0.01	0.50	4.01	0.61	5.146	—	77.9	
2	11:55:55	0:05:32	17.0	30.35	28.81	30.808	44.252	0.091	0.109	0.00	0.00	0.47	3.78	0.57	4.823	—	78.4	
3	12:01:44	0:06:37	16.9	30.41	28.40	30.397	44.125	0.077	0.111	0.01	0.01	0.48	3.80	0.58	4.879	—	77.9	
4	12:08:35	0:05:47	17.0	29.51	27.97	29.966	43.402	0.085	0.115	0.01	0.01	0.49	3.87	0.62	4.988	—	77.5	
5	12:14:31	0:06:51	16.9	29.50	28.19	30.185	44.005	0.072	0.122	0.01	0.01	0.53	4.16	0.65	5.352	—	77.7	
6	12:22:13	0:07:06	16.5	30.79	28.15	30.147	43.417	0.072	0.115	0.01	0.01	0.49	3.89	0.62	5.010	—	77.6	
		Moyenne	17.0	30.33	28.38	30.375	43.931	0.080	0.115	0.01	0.01	0.49	3.92	0.61	5.033	0.000	77.8	
		Déviat. std	0.1	0.68	0.31	0.311	0.387	0.007	0.004	0.00	0.00	0.02	0.13	0.03	0.175	0.000	0.3	
		Ecart Type	0.0	0.022	0.011	0.010	0.009	0.089	0.036	0.319	0.366	0.037	0.033	0.043	0.035	0.000	0.004	
Durée d'utilisation : 0:38:09																		
Tr1=20160526115014.riv ; Tr2=20160526115645.riv ; Tr3=20160526120241.riv ; Tr4=20160526120938.riv ; Tr5=20160526121540.riv ; Tr6=20160526122330.riv ;																		
Commentaires																		
Tr1=20160526115014.riv - ; Tr2=20160526115645.riv - ; Tr3=20160526120241.riv - ; Tr4=20160526120938.riv - ; Tr5=20160526121540.riv - ; Tr6=20160526122330.riv - ;																		
Etalonnage du Compas																		
Etalonnage terminé																		
Erreur de cap: 0.00 deg																		
Ampleur moyenne: 0.00																		
Tangage: 0/0																		
Roulis: 0/0																		
Test du Système																		
Test Système : VALIDE																		
Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers																		
Rapport généré via SonTek RiverSurveyor Live v3.9.0																		

Jaugeage 4

Résumé de Mesure															Date de mesure : jeudi 26 mai 2016		
Informations sur le Site										Informations sur la Mesure							
Nom du Site										Opérateurs							
Numéro de Station										Embarcation / Moteur							
Localisation										Numéro de Mesure							
Informations sur le Système					Réglages Système					Unités							
Type de système RS-55					Enfoncement du Capteur (m) 0.05					Distance m							
Numéro de série 1969					Salinité (ppt) 0.0					Vitesse m/s							
Version du Firmware 3.96					Déclinaison Magnétique (degrés) 0.0					Surface m2							
Version de RiverSurveyor Live 3.9.0										Débit m3/s							
										Température °C							
Réglages du Calcul de Débit										Résultats de Débit							
Méthode de Suivi Référence : Suivi de fond Méthode Berge de Gauche Berge Inclinée										Largeur (m) 19.966							
Méthode de Profondeur Profondeur Faisceau Vert. Méthode Berge de Droite Berge Inclinée										Section (m2) 28.425							
Système de Coordonnées Coordonnées ENU Type d'ajustement en Haut Coeff. ajustable										Vitesse Moyenne (m/s) 0.170							
Type d'ajustement du Fond Coeff. ajustable										Débit total (m3/s) 4.844							
										Profondeur Maximale Mesurée 2.187							
										Vitesse maximale mesurée 0.973							
Résultats de Mesure																	
N° Tr	Heure		Distance			Vit. moy.		Débit							%		
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré
1B	14:44:51	0:04:04	17.8	19.84	17.65	19.652	28.140	0.081	0.175	0.00	0.01	0.47	3.76	0.69	4.932	---	76.2
2B	14:49:06	0:02:54	17.6	19.38	17.72	19.723	28.148	0.111	0.169	0.01	0.01	0.46	3.67	0.62	4.770	---	77.0
3B	14:52:10	0:04:15	17.5	19.80	18.14	20.141	28.351	0.078	0.166	0.00	0.01	0.45	3.63	0.61	4.707	---	77.1
4B	14:56:35	0:03:22	17.4	19.27	18.06	20.061	28.337	0.095	0.170	0.01	0.01	0.45	3.65	0.68	4.810	---	75.9
5B	15:00:06	0:04:23	17.4	19.60	18.15	20.145	28.768	0.075	0.171	0.01	0.02	0.47	3.73	0.70	4.924	---	75.7
6B	15:04:37	0:03:46	17.4	19.25	18.07	20.072	28.807	0.085	0.171	0.02	0.01	0.46	3.73	0.69	4.918	---	75.8
		Moyenne	17.5	19.52	17.97	19.966	28.425	0.088	0.170	0.01	0.01	0.46	3.69	0.67	4.844	0.000	76.3
		Déviat. std	0.2	0.24	0.20	0.200	0.269	0.013	0.003	0.01	0.00	0.01	0.05	0.04	0.086	0.000	0.6
		Ecart Type	0.0	0.012	0.011	0.010	0.009	0.143	0.016	0.483	-0.177	0.017	-0.013	0.054	0.018	0.000	0.007
Durée d'utilisation : 0:22:44																	
Tr1=20160526144454.riv ; Tr2=20160526144913.riv ; Tr3=20160526145220.riv ; Tr4=20160526145650.riv ; Tr5=20160526150024.riv ; Tr6=20160526150500.riv ;																	
Commentaires																	
Tr1=20160526144454.riv - ; Tr2=20160526144913.riv - ; Tr3=20160526145220.riv - ; Tr4=20160526145650.riv - ; Tr5=20160526150024.riv - ; Tr6=20160526150500.riv - ;																	
Etalonnage du Compas																	
Etalonnage terminé																	
Erreur de cap: 0.00 deg																	
Ampleur moyenne: 0.00																	
Tangage: 0/0																	
Roulis: 0/0																	
Test du Système																	
Test Système : VALIDE																	
Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers																	
Rapport généré via SonTek RiverSurveyor Live v3.9.0																	

Annexe 2.
Résultats détaillés des mesures de débit effectuées
sur le canal latéral à la Garonne en août 2016

Rapport de mission d'hydrométrie Canal latéral de la Garonne – 30/08/2016



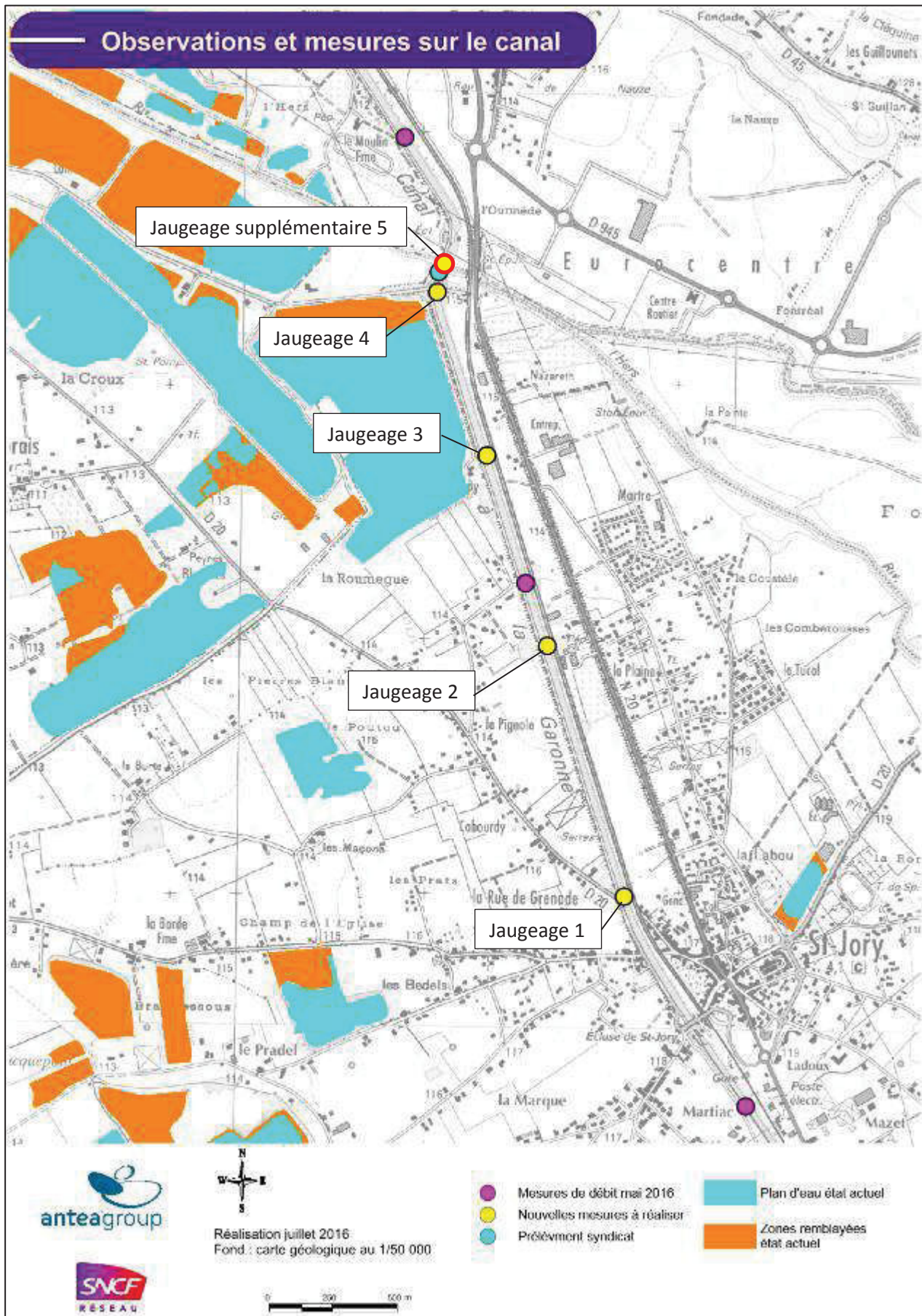
Eaucéa, société spécialisée dans les questions d'hydrométrie en milieu naturel à vocation hydrologique, hydraulique et écologique propose une prestation de jaugeages et de diagnostics hydrauliques complets, s'appuyant sur le meilleur moyen de prospection disponible aujourd'hui sur le marché, et garantissant un accès aux sections inaccessibles par des moyens traditionnels. Le profileur de courant à effet Doppler mesure des profils verticaux de la vitesse de l'eau en utilisant l'énergie acoustique à ultrasons. Il est capable de déterminer simultanément le profil du cours d'eau et le profil vertical de la vitesse d'écoulement, tout en considérant la vitesse avec laquelle l'appareil lui-même traverse le cours d'eau ou le canal.

L'appareil est un profileur acoustique de courant à effet Doppler, modèle Riversurveyor S5 de marque SonTek.

L'objectif de la mission est de mesurer en plusieurs points le débit du canal latéral de la Garonne. La finalité étant de déterminer la présence éventuelle de fuites sur le tronçon étudié (bief de Saint Jory).

La mission réalisée le 30/08/2016 a permis de jauger le canal latéral de la Garonne à 4 endroits différents, définis et fournis par la société Antea. Un cinquième jaugeage a été réalisé en complément afin de déterminer précisément le prélèvement aval effectué pour l'alimentation en eau potable du Syndicat Intercommunal des Eaux Hers-Girou (SIEHG).

Site des jaugeages

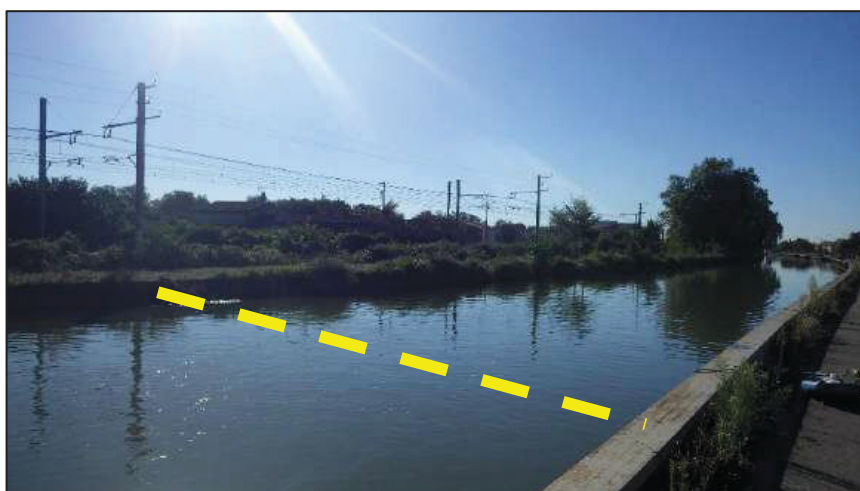




Section de jaugeage (14-25 mètres sur le tronçon étudié)

Les transects réalisés sont représentés en tirets jaunes.

Jaugeage 1 : aval de l'écluse de Saint Jory (bifurcation RD 20)



Vue de l'amont du premier site de jaugeage



Vue de l'aval du premier site de jaugeage

Jaugeage 2 : Environ à mi-distance entre l'écluse de Saint Jory et l'écluse de l'Hers (pépinière en rive droite)



Vue de l'amont du deuxième site de jaugeage



Vue de l'aval du deuxième site de jaugeage

Jaugeage 3 : Entre l'écluse de Saint-Jory et l'écluse de l'Hers (lieu-dit Capy en rive gauche)



Vue de l'amont du troisième site de jaugeage



Vue de l'aval du troisième site de jaugeage

Jaugeage 4 : Sous le pont traversant le canal



Vue de l'amont du quatrième site de jaugeage



Vue de l'aval du quatrième site de jaugeage

Jaugeage 5 supplémentaire : Entre le prélèvement AEP et le siphon du pont canal de l'Hers



Vue de l'amont du cinquième site de jaugeage



Vue de l'aval du cinquième site de jaugeage

Synthèse des conditions et des résultats des jaugeages

Les 30 jaugeages ont été réalisés en 5 points différents de mesure de l'aval immédiat de l'écluse de Saint Jory (site le plus en amont) à l'amont de l'écluse de la Hers (site le plus en aval). Les 30 jaugeages couvrent des débits allant de 5,69 à 6,28 m³/s environ.

Les tableaux suivants présentent les résultats des jaugeages ainsi que leur interprétation en valeurs moyennes. Pour chaque jaugeage, les mesures de débits présentent une bonne cohérence globale. Cependant, la prolifération des herbiers sur le jaugeage 3 participe à l'incertitude de la mesure, nous avons estimé la proportion de débit relative à ces zones d'herbiers. Les mesures s'échelonnant sur la durée d'une journée, il est fait l'hypothèse que les débits transitant dans le canal l'après-midi étaient plus importants que ceux mesurés le matin sachant qu'il n'existe pas d'enregistrement continu des cotes des biefs qui pourraient nous indiquer une variation de débit. Pour chaque jaugeage, les valeurs extrêmes de débits mesurés (minimum et maximum) sont retirées afin d'obtenir une valeur de débit moyen fiable.

Jaugeage 1 : de 9H10 à 09H37

Jaugeage 1 Transect de 15 m	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{ère} mesure	28.0	0.211	5.914
2 ^{ème} mesure	28.5	0.207	5.921
3 ^{ème} mesure	29.1	0.210	6.094
4 ^{ème} mesure	28.2	0.212	5.962
5 ^{ème} mesure	28.8	0.210	6.040
6 ^{ème} mesure	26.6	0.214	5.691
Moyenne des mesures (en éliminant les valeurs extrêmes)	28.4	0.21	5.96

Sur l'ensemble des 4 mesures considérées, la moyenne est de **5,96 m³/s** et l'incertitude, pour un intervalle de confiance de 95 %, est de **± 0,06 m³/s**.

Jaugeage 2 : de 10H17 à 10H55

Jaugeage 2 Transect de 18 m	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{ère} mesure	29.3	0.216	6.313
2 ^{ème} mesure	29.1	0.207	6.044
3 ^{ème} mesure	29.2	0.199	5.825
4 ^{ème} mesure	28.6	0.211	6.037
5 ^{ème} mesure	28.9	0.213	6.151
6 ^{ème} mesure	30.3	0.209	6.313
Moyenne des mesures (en éliminant les valeurs extrêmes)	29.0	0.21	6.14

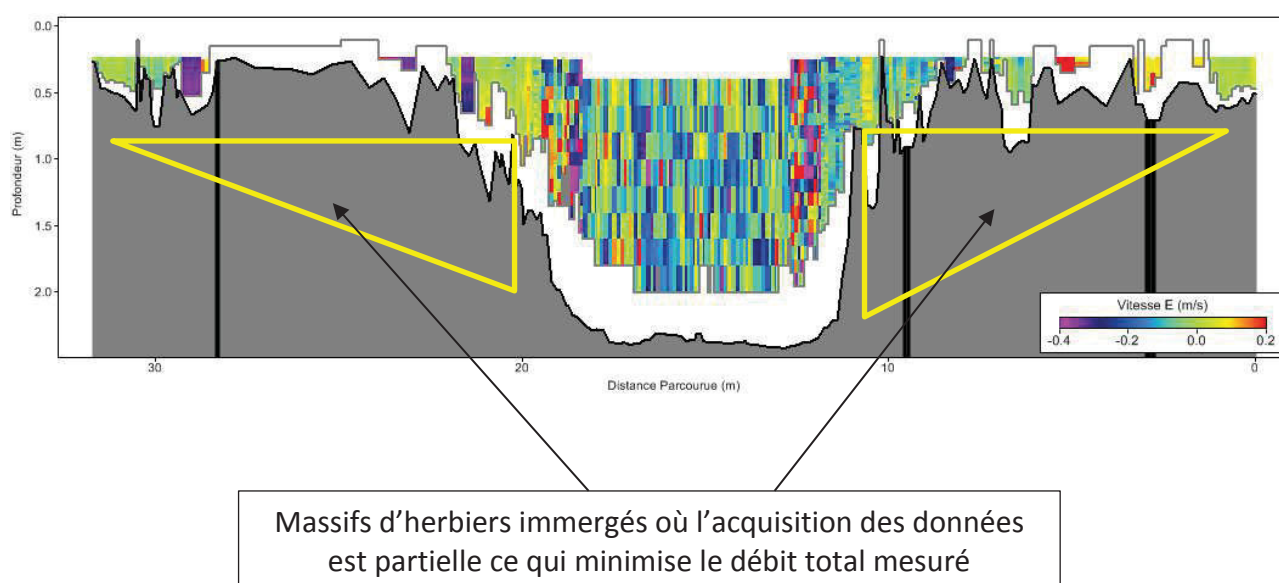
Sur l'ensemble des 4 mesures considérées, la moyenne est de **6,14 m³/s** et l'incertitude, pour un intervalle de confiance de 95 %, est de **± 0,13 m³/s**.

Jaugeage 3 : de 11H57 à 12H33

Jaugeage 3 Transect de 19 m	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{ère} mesure	24.5	0.234	5.743
2 ^{ème} mesure	24.1	0.255	6.134
3 ^{ème} mesure	27.9	0.198	5.516
4 ^{ème} mesure	22.6	0.264	5.965
5 ^{ème} mesure	24.5	0.234	5.734
6 ^{ème} mesure	28.7	0.193	5.528
Moyenne des mesures (en éliminant les valeurs extrêmes)	25.1	0.2	5.74
Débit complémentaire transitant dans les zones d'herbiers	9.8	0.01	0.10
Débit total	34.9	0.17	5.84

Sur l'ensemble des 4 mesures considérées sans l'estimation du débit transitant à travers les herbiers, la moyenne est de **5,74 m³/s** et l'incertitude, pour un intervalle de confiance de 95 %, est de **± 0,17 m³/s**.

Etant donné la présence très importante d'herbiers immergés sur les bordures du canal au niveau de ce transect, le profileur ADCP acquiert partiellement les données. Ainsi, nous avons estimé une section hydraulique relative à la zone occupée par les herbiers. En fonction des vitesses mesurées, nous avons pu calculer une valeur moyenne des vitesses d'écoulements à travers les herbiers. Nous obtenons alors un débit complémentaire de **0,10 m³/s**. Le débit total est alors de **5,84 m³/s**.



Jaugeage 4 : de 14H36 à 15H01

Jaugeage 4 Transect de 14 m	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{ère} mesure	26.7	0.225	6.016
2 ^{ème} mesure	27.4	0.235	6.436
3 ^{ème} mesure	24.6	0.255	6.280
4 ^{ème} mesure	28.3	0.221	6.249
5 ^{ème} mesure	28.0	0.220	6.164
6 ^{ème} mesure	26.9	0.243	6.535
Moyenne des mesures (en éliminant les valeurs extrêmes)	27.1	0.2	6.28

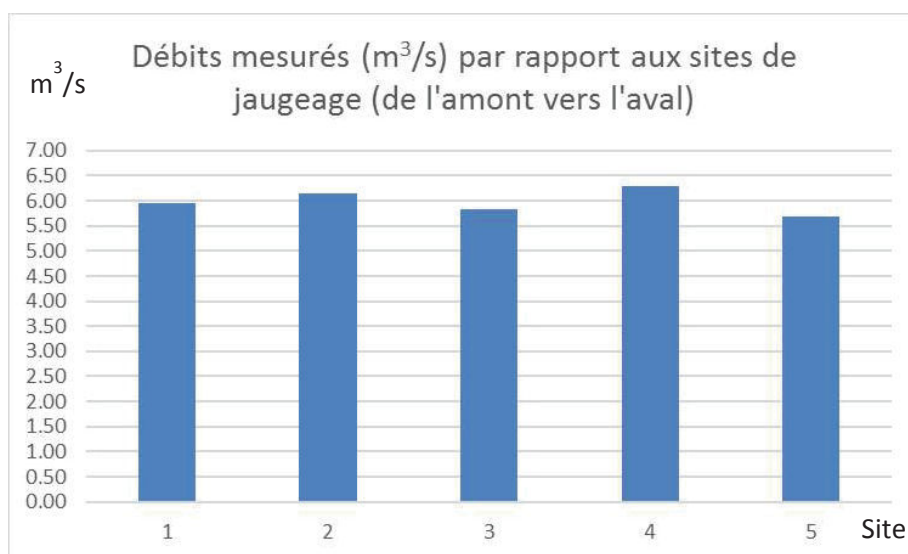
Sur l'ensemble des 6 mesures considérées, la moyenne est de **6,28 m³/s** et l'incertitude, pour un intervalle de confiance de 95 %, est de **± 0,11 m³/s**.

Jaugeage 5 : de 15H33 à 15H56

Jaugeage 5 Transect de 16 m	Section mesurée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit mesuré (m ³ /s)
1 ^{ère} mesure	23.2	0.250	5.807
2 ^{ème} mesure	25.6	0.215	5.521
3 ^{ème} mesure	26.2	0.213	5.568
4 ^{ème} mesure	25.2	0.226	5.688
5 ^{ème} mesure	26.4	0.226	5.976
6 ^{ème} mesure	23.8	0.242	5.761
Moyenne des mesures (en éliminant les valeurs extrêmes)	25.9	0.220	5.69

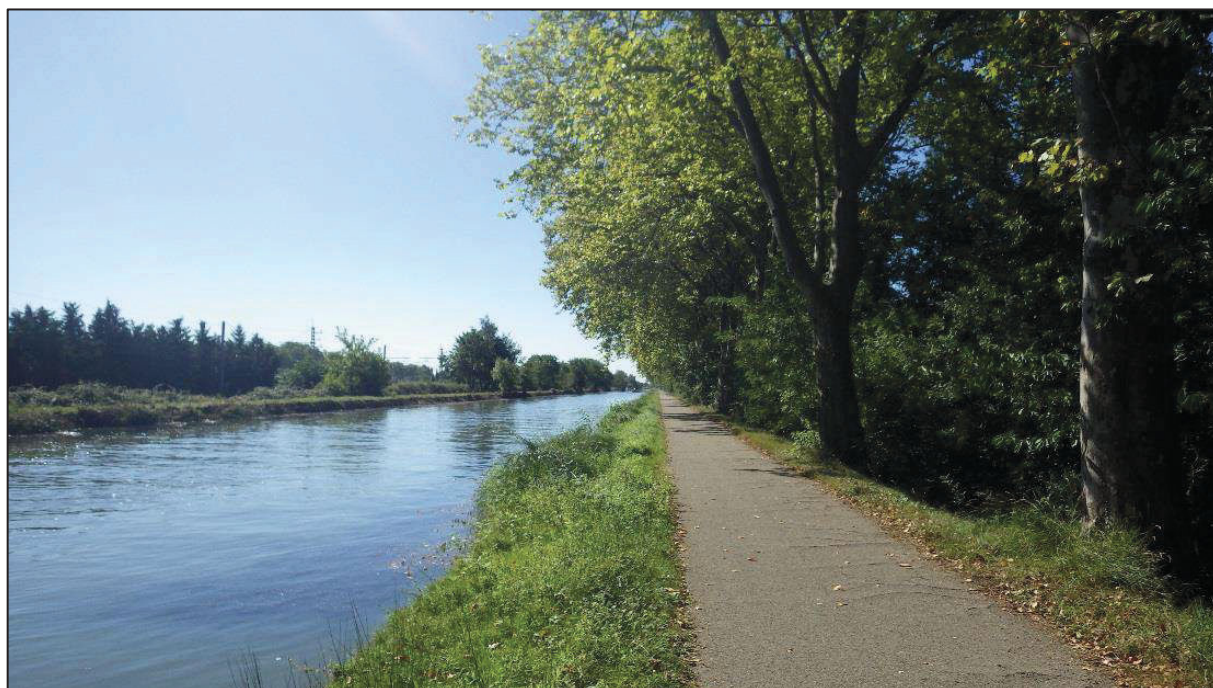
Sur l'ensemble des 6 mesures considérées, la moyenne est de **5,69 m³/s** et l'incertitude, pour un intervalle de confiance de 95 %, est de **± 0,10 m³/s**.

Le graphique suivant présente les résultats des jaugeages sur les 5 sites étudiés.



Sur l'ensemble du tronçon étudié, il a pu être quantifié une perte de débit. L'étude sur le bief de Saint Jory se décline en deux parties où des pertes ont été identifiées clairement.

Entre le jaugeage 1 et 2, l'écart entre les débits est assez faible (de l'ordre de $0,180 \text{ m}^3/\text{s}$). Cet écart montre un débit légèrement supérieur pour le jaugeage 2. Cette différence supérieure peut être expliquée au mouvement des bateaux de plaisance lors de la mesure au niveau du jaugeage 2. Ces mouvements engendrent alors des vitesses d'écoulements différentes même si une période de stabilisation a été attendue entre le passage des bateaux. Cette partie du bief ne présente donc pas de fuite significative.



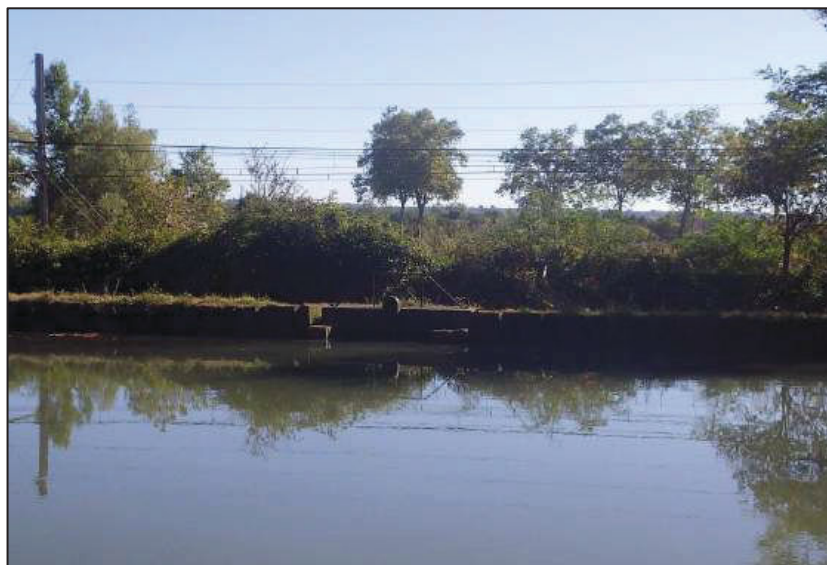
Passage de bateaux lors des jaugeages sur le deuxième site

Entre le jaugeage 2 et 3, la variation du débit est beaucoup plus élevée ($0,3 \text{ m}^3/\text{s}$). Cette différence peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Il a été difficile de trouver une section de jaugeage au niveau du troisième site sans la présence d'herbiers. En effet, ces herbiers ont colonisé l'ensemble des berges sur toute la colonne d'eau sur une largeur de plusieurs mètres. Le jaugeage 3 a donc été réalisé dans une zone où les herbiers étaient moins denses. Dans ces zones, le profileur ADCP Doppler acquiert les données partiellement mais les débits sont relativement faibles (la proportion du débit transitant dans le canal s'écoule largement dans le chenal central dépourvu d'herbiers). Néanmoins, une estimation des débits transitant dans ces zones d'herbiers a été réalisée. Cette estimation montre que le débit s'écoulant dans ces zones est largement inférieur à la perte de débit entre le jaugeage 2 et 3.



Herbiers en bordure

De plus, entre les sites de jaugeage 2 et 3, il a été remarqué un ouvrage hydraulique qui doit permettre l'écoulement des eaux depuis le canal vers la rive droite. Cet ouvrage peut être responsable d'une perte de débit entre le site 2 et 3. En conclusion, cette zone présente une fuite certaine mais qui est à relativiser vis-à-vis des conditions de mesures.



Ouvrage hydraulique en rive droite entre le site de jaugeage 2 et 3

Entre le jaugeage 3 et 4, un écart important a été relevé. Néanmoins, ces jaugeages sont les plus espacés. Le jaugeage 3 a été effectué en fin de matinée et le jaugeage 4 en début d'après-midi. Il n'y a pas d'enregistrements en continu des cotes des plans d'eau des biefs. Le jaugeage 4 est relativement fiable car il a été réalisé au niveau d'une section dépourvue d'herbiers et assez uniforme (sous le pont). Une explication possible de cette différence supérieure de débit pourrait être l'augmentation du débit transitant par le canal de $0,44 \text{ m}^3/\text{s}$ sur 2 H. De plus, les herbiers minimisent la mesure de débit pour le jaugeage 3. Il est à souligner qu'aucun bateau n'est venu perturber la mesure à ce moment.

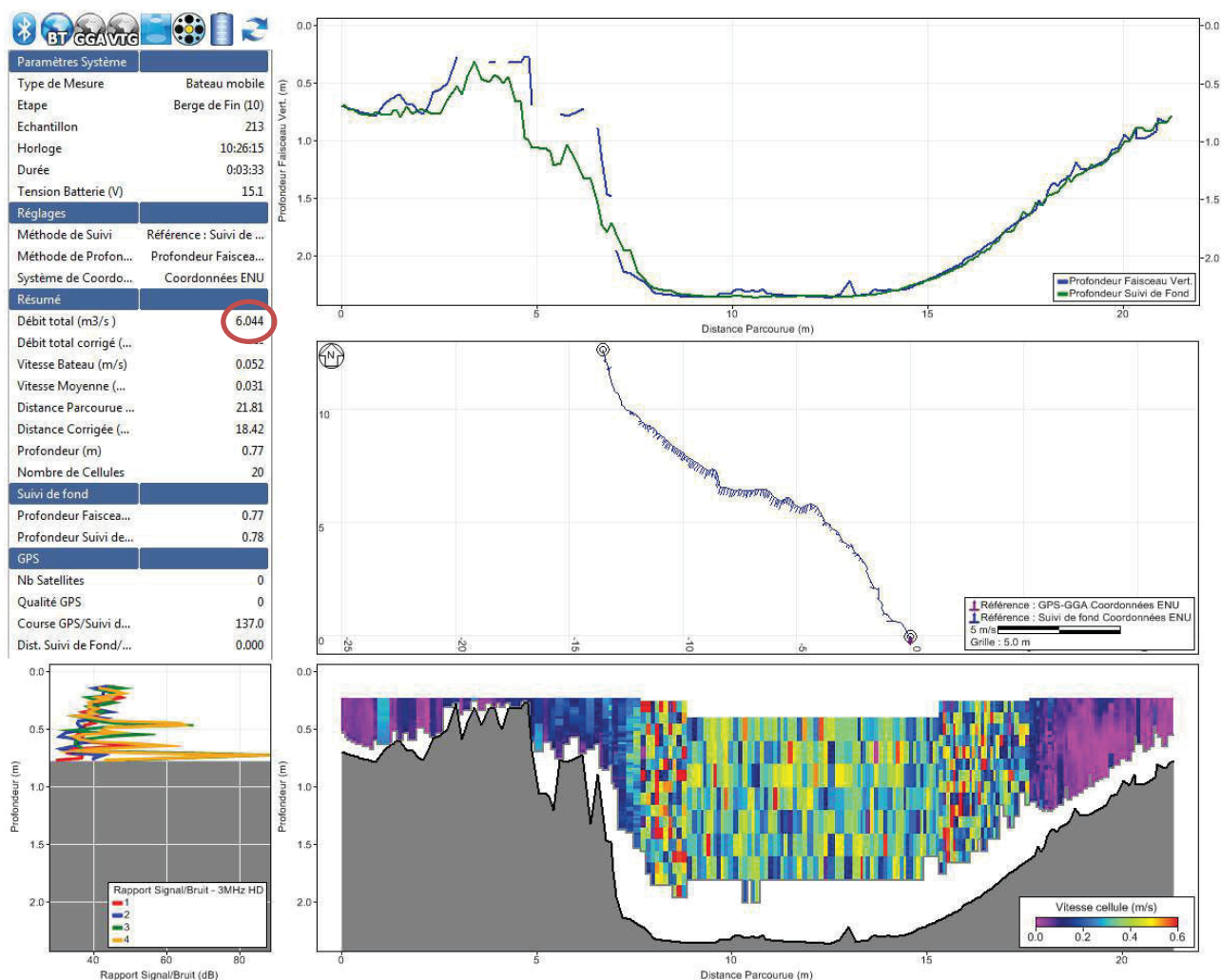
Un jaugeage supplémentaire a été réalisé par rapport à la commande d'origine. Celui-ci permet en effet de connaître précisément le débit prélevé par l'alimentation AEP juste en amont du siphon et du pont canal de l'Hers. Ce prélèvement est de l'ordre de $0,59 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'instant des mesures.



Prise d'eau de prélèvement AEP

Résultats détaillés bruts

Les pages suivantes regroupent les tableaux complets de synthèse des résultats. Ci-dessous, une illustration des sorties graphiques d'un jaugeage.



Les mesures ont **toutes** été validées a posteriori, et ajustées ou supprimées si nécessaire.

Elles sont résumées dans les tableaux ci-après.

Jaugeage 1

Résumé de Mesure

Date de mesure : mardi 30 août 2016

Informations sur le Site				Informations sur la Mesure					
Nom du Site				Opérateurs					
Numéro de Station				Embarcation / Moteur					
Localisation				Numéro de Mesure					
Informations sur le Système				Réglages Système				Unités	
Type de système		RS-S5		Enfoncement du Capteur (m)		0.05		Distance	m
Numéro de série		1969		Salinité (ppt)		0.0		Vitesse	m/s
Version du Firmware		3.96		Déclinaison Magnétique (degrés)		0.0		Surface	m2
Version de RiverSurveyor Live		3.9.0						Débit	m3/s
								Température	°C
Réglages du Calcul de Débit						Résultats de Débit			
Méthode de Suivi		Référence : Suivi de fond		Méthode Berge de Gauche		Berge Verticale		Largeur (m)	16.984
Méthode de Profondeur		Profondeur Faisceau Vert.		Méthode Berge de Droite		Berge Verticale		Section (m2)	28.203
Système de Coordonnées		Coordonnées ENU		Type d'ajustement en Haut		Coeff. ajustable		Vitesse Moyenne (m/s)	0.211
				Type d'ajustement du Fond		Coeff. ajustable		Débit total (m3/s)	5.937
								Profondeur Maximale Mesurée	2.336
								Vitesse maximale mesurée	0.958

Résultats de Mesure																	
N° Tr	Heure		Distance				Vit. moy.		Débit						%		
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré
1	B 09:10:19	0:03:58	22.5	19.10	15.47	17.468	28.023	0.080	0.211	0.00	0.19	1.07	3.69	0.96	5.914	--	62.4
2	B 09:15:23	0:03:15	22.5	19.22	14.36	16.356	28.547	0.099	0.207	0.00	0.37	1.02	3.61	0.93	5.921	--	60.8
3	B 09:19:25	0:03:46	22.5	19.36	15.79	17.794	29.051	0.086	0.210	0.00	0.19	1.09	3.78	1.03	6.094	--	62.1
4	B 09:24:34	0:03:10	22.5	19.09	14.59	16.591	28.166	0.100	0.212	0.00	0.23	1.06	3.69	0.98	5.962	--	61.9
5	B 09:28:14	0:04:08	22.5	19.77	14.74	16.741	28.792	0.080	0.210	0.01	0.20	1.09	3.71	1.03	6.040	--	61.4
6	B 09:37:03	0:04:15	22.6	18.83	14.96	16.955	26.637	0.074	0.214	0.01	0.15	1.03	3.58	0.92	5.691	--	62.9
		Moyenne	22.5	19.23	14.98	16.984	28.203	0.086	0.211	0.00	0.22	1.06	3.68	0.97	5.937	0.000	61.9
		Déviat. std	0.0	0.29	0.50	0.500	0.782	0.010	0.002	0.00	0.07	0.03	0.07	0.04	0.127	0.000	0.7
		Ecart Type	0.0	0.015	0.033	0.029	0.028	0.114	0.009	1.612	0.319	0.026	0.018	0.043	0.021	0.000	0.011
Durée d'utilisation : 0:22:32																	
Tr1=20160830091019r.rivr; Tr2=20160830091521r.rivr; Tr3=20160830091928r.riv; Tr4=20160830092439r.rivr; Tr5=20160830092820r.riv; Tr6=20160830093729r.rivr;																	

Commentaires																
Tr1=20160830091019r.rivr - ; Tr2=20160830091521r.rivr - ; Tr3=20160830091928r.riv - ; Tr4=20160830092439r.rivr - ; Tr5=20160830092820r.riv - ; Tr6=20160830093729r.rivr - ;																
Etalonnage du Compas																
Etalonnage terminé																
Erreur de cap: 0.00 deg																
Ampleur moyenne: 0.00																
Tangage: 0/0																
Roulis: 0/0																
Test du Système																
Test Système : VALIDE																

Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers

Rapport généré via SonTek RiverSurveyor Live v3.9.0

Jaugeage 2

Résumé de Mesure

Date de mesure : mardi 30 août 2016

Informations sur le Site				Informations sur la Mesure					
Nom du Site				Opérateurs					
Numéro de Station				Embarcation / Moteur					
Localisation				Numéro de Mesure					
Informations sur le Système				Réglages Système				Unités	
Type de système		RS-S5		Enfoncement du Capteur (m)		0.05		Distance	m
Numéro de série		1969		Salinité (ppt)		0.0		Vitesse	m/s
Version du Firmware		3.96		Déclinaison Magnétique (degrés)		0.0		Surface	m2
Version de RiverSurveyor Live		3.9.0						Débit	m3/s
								Température	°C
Réglages du Calcul de Débit						Résultats de Débit			
Méthode de Suivi		Référence : Suivi de fond		Méthode Berge de Gauche		Berge Verticale		Largeur (m)	19.689
Méthode de Profondeur		Profondeur Faisceau Vert.		Méthode Berge de Droite		Berge Verticale		Section (m2)	29.240
Système de Coordonnées		Coordonnées ENU		Type d'ajustement en Haut		Coeff. ajustable		Vitesse Moyenne (m/s)	0.209
				Type d'ajustement du Fond		Coeff. ajustable		Débit total (m3/s)	6.114
								Profondeur Maximale Mesurée	2.355
								Vitesse maximale mesurée	0.946

Résultats de Mesure																	
N° Tr	Heure		Distance				Vit. moy.			Débit						%	
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré
7 B	10:16:48	0:04:30	22.5	21.67	16.98	18.978	29.286	0.080	0.216	0.04	0.01	1.08	4.05	1.14	6.313	--	64.2
8 B	10:22:43	0:03:33	22.6	21.81	18.42	20.416	29.132	0.102	0.207	0.03	0.00	1.13	3.81	1.07	6.044	--	63.1
9 B	10:26:59	0:04:23	22.7	23.25	17.33	19.327	29.204	0.088	0.199	0.02	0.00	1.02	3.73	1.04	5.825	--	64.1
10 B	10:32:13	0:04:21	22.7	23.04	17.30	19.296	28.633	0.088	0.211	0.03	0.01	1.10	3.85	1.06	6.037	--	63.7
11 B	10:41:35	0:02:49	22.8	20.75	16.99	18.995	28.925	0.123	0.213	0.02	0.02	1.13	3.90	1.08	6.151	--	63.4
12 B	10:55:39	0:03:36	22.9	22.71	19.13	21.125	30.258	0.105	0.209	0.02	0.01	1.17	4.03	1.09	6.313	--	63.9
		Moyenne	22.7	22.21	17.69	19.689	29.240	0.098	0.209	0.02	0.01	1.11	3.90	1.08	6.114	0.000	63.7
		Déviat. std	0.1	0.88	0.80	0.803	0.503	0.014	0.005	0.01	0.00	0.05	0.11	0.03	0.171	0.000	0.4
		Ecart Type	0.0	0.039	0.045	0.041	0.017	0.144	0.024	0.259	0.681	0.041	0.029	0.028	0.028	0.000	0.006
Durée d'utilisation : 0:23:12																	
Tr7=20160830101648.riv; Tr8=20160830102222.riv; Tr9=20160830102708.riv; Tr10=20160830103217.riv; Tr11=20160830104203.riv; Tr12=20160830105626.riv;																	

Durée d'utilisation : 0:23:12

Tr7=20160830101648.riv ; Tr8=20160830102222.riv ; Tr9=20160830102708.riv ; Tr10=20160830103217.riv ; Tr11=20160830104203.riv ; Tr12=20160830105626.riv ;

Commentaires

Tr7=20160830101648.riv - ; Tr8=20160830102222.riv - ; Tr9=20160830102708.riv - ; Tr10=20160830103217.riv - ; Tr11=20160830104203.riv - ; Tr12=20160830105626.riv - ;

Etalonnage du Compas

Etalonnage terminé
Erreur de cap: 0.00 deg
Ampleur moyenne: 0.00Tangage: 0/0
Roulis: 0/0

Test du Système

Test Système : VALIDE

Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers

Rapport généré via SonTek RiverSurveyor Live v3.9.0

Jaugeage 3

Résumé de Mesure

Date de mesure : mardi 30 août 2016

Informations sur le Site				Informations sur la Mesure			
Nom du Site				Opérateurs			
Numéro de Station				Embarcation / Moteur			
Localisation				Numéro de Mesure			
Informations sur le Système		Réglages Système		Unités			
Type de système	RS-S5	Enfoncement du Capteur (m)	0.05	Distance	m		
Numéro de série	1969	Salinité (ppt)	0.0	Vitesse	m/s		
Version du Firmware	3.96	Déclinaison Magnétique (degrés)	0.0	Surface	m2		
Version de RiverSurveyor Live	3.9.0			Débit	m3/s		
				Température	°C		
Réglages du Calcul de Débit				Résultats de Débit			
Méthode de Suivi	Référence : Suivi de fond	Méthode Berge de Gauche	Berge Verticale	Largeur (m)	21.126		
Méthode de Profondeur	Profondeur Faisceau Vert.	Méthode Berge de Droite	Berge Verticale	Section (m2)	25.372		
Système de Coordonnées	Coordonnées ENU	Type d'ajustement en Haut	Coeff. ajustable	Vitesse Moyenne (m/s)	0.230		
		Type d'ajustement du Fond	Coeff. ajustable	Débit total (m3/s)	5.770		
				Profondeur Maximale Mesurée	2.873		
				Vitesse maximale mesurée	0.994		

Résultats de Mesure																		
N° Tr	Heure		Distance				Vit. moy.		Débit						%			
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré	
13	B	11:57:28	0:05:10	23.1	31.61	19.92	21.917	24.514	0.102	0.234	0.01	0.00	1.05	3.73	0.95	5.743	--	65.0
14	B	12:09:01	0:04:09	23.2	26.67	17.80	19.797	24.077	0.107	0.255	0.02	0.00	1.21	3.96	0.95	6.134	--	64.4
15	B	12:14:02	0:04:19	23.5	32.05	24.78	26.785	27.879	0.124	0.198	0.00	0.00	1.02	3.61	0.88	5.516	--	65.5
16	B	12:19:49	0:04:35	23.3	29.96	13.07	15.074	22.557	0.109	0.264	0.02	0.00	1.12	3.89	0.93	5.965	--	65.2
17	B	12:26:06	0:05:37	23.7	30.90	15.04	17.045	24.539	0.092	0.234	0.00	0.00	1.09	3.70	0.94	5.734	--	64.5
18	B	12:33:32	0:04:03	23.4	31.61	24.14	26.139	28.662	0.130	0.193	0.01	0.00	1.08	3.57	0.87	5.528	--	64.6
		Moyenne	23.4	30.47	19.13	21.126	25.372	0.111	0.230	0.01	0.00	1.09	3.75	0.92	5.770	0.000	64.9	
		Déviat. std	0.2	1.83	4.34	4.337	2.166	0.013	0.027	0.01	0.00	0.06	0.14	0.03	0.222	0.000	0.4	
		Ecart Type	0.0	0.060	0.227	0.205	0.085	0.117	0.116	0.811	-11.110	0.054	0.037	0.038	0.038	0.000	0.006	
Durée d'utilisation : 0:27:53																		
Tr13=20160830115728.riv; Tr14=20160830120909.riv; Tr15=20160830121413.riv; Tr16=20160830121958.riv; Tr17=20160830122636.riv; Tr18=20160830123414.riv;																		

Commentaires																
Tr13=20160830115728r.riv - ; Tr14=20160830120909.riv - ; Tr15=20160830121413r.riv - ; Tr16=20160830121958.riv - ; Tr17=20160830122636.riv - ; Tr18=20160830123414r.riv - ;																

Etalonnage du Compas																
Etalonnage terminé																
Erreur de cap: 0.00 deg																
Ampleur moyenne: 0.00																
Tangage: 0/0																
Roulis: 0/0																

Test du Système																
Test Système : VALIDE																

Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers

Rapport généré via SanTek RiverSurveyor Live v3.9.0

Jaugeage 4

Résumé de Mesure

Date de mesure : mardi 30 août 2016

Informations sur le Site				Informations sur la Mesure					
Nom du Site				Opérateurs					
Numéro de Station				Embarcation / Moteur					
Localisation				Numéro de Mesure					
Informations sur le Système				Réglages Système				Unités	
Type de système		RS-S5		Enfoncement du Capteur (m)		0.05		Distance	m
Numéro de série		1969		Salinité (ppt)		0.0		Vitesse	m/s
Version du Firmware		3.96		Déclinaison Magnétique (degrés)		0.0		Surface	m2
Version de RiverSurveyor Live		3.9.0						Débit	m3/s
								Température	°C
Réglages du Calcul de Débit						Résultats de Débit			
Méthode de Suivi		Référence : Suivi de fond		Méthode Berge de Gauche		Berge Verticale		Largeur (m)	15.973
Méthode de Profondeur		Profondeur Faisceau Vert.		Méthode Berge de Droite		Berge Verticale		Section (m2)	26.980
Système de Coordonnées		Coordonnées ENU		Type d'ajustement en Haut		Coeff. ajustable		Vitesse Moyenne (m/s)	0.233
				Type d'ajustement du Fond		Coeff. ajustable		Débit total (m3/s)	6.280
								Profondeur Maximale Mesurée	2.253
								Vitesse maximale mesurée	1.209

Résultats de Mesure																	
N° Tr	Heure		Distance				Vit. moy.			Débit							‰
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré
19 B	14:36:38	0:03:35	24.1	16.64	14.07	16.075	26.718	0.077	0.225	0.01	-0.12	0.89	4.46	0.77	6.016	--	71.3
20 B	14:40:45	0:02:58	23.9	15.63	14.13	16.129	27.371	0.088	0.235	0.00	0.19	0.90	4.55	0.80	6.436	--	70.7
21 B	14:49:11	0:02:52	23.8	15.77	12.20	14.199	24.603	0.092	0.255	0.06	0.12	0.85	4.49	0.76	6.280	--	71.5
22 B	14:52:35	0:04:38	23.9	17.55	15.07	17.072	28.296	0.063	0.221	0.00	-0.06	0.92	4.55	0.84	6.249	--	71.4
23 B	14:57:54	0:03:07	23.8	15.99	14.54	16.543	27.990	0.086	0.220	0.00	0.17	0.86	4.39	0.73	6.164	--	71.3
24 B	15:01:53	0:03:50	23.9	17.69	13.82	15.820	26.902	0.077	0.243	0.00	0.12	0.93	4.66	0.82	6.535	--	71.4
		Moyenne	23.9	16.54	13.97	15.973	26.980	0.080	0.233	0.01	0.07	0.89	4.52	0.79	6.280	0.000	71.3
		Déviat. std	0.1	0.82	0.89	0.889	1.199	0.009	0.013	0.02	0.12	0.03	0.08	0.04	0.170	0.000	0.2
		Ecart Type	0.0	0.050	0.064	0.056	0.044	0.117	0.055	1.542	1.649	0.031	0.019	0.047	0.027	0.000	0.003

Durée d'utilisation : 0:21:00

Tr19=20160830143638r.rivr ; Tr20=20160830144044.riv ; Tr21=20160830144907r.rivr ; Tr22=20160830145240r.rivr ; Tr23=20160830145813r.rivr ; Tr24=20160830150217.riv ;

Commentaires
Tr19=20160830143638r.rivr - ; Tr20=20160830144044.riv - ; Tr21=20160830144907r.rivr - ; Tr22=20160830145240r.rivr - ; Tr23=20160830145813r.rivr - ; Tr24=20160830150217.riv - ;

Etalonnage du Compas
Etalonnage terminé
Erreur de cap: 0.00 deg
Ampleur moyenne: 0.00
Tangage: 0/0
Roulis: 0/0
Test du Système
Test Système : VALIDE

Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers

Rapport généré via SonTek RiverSurveyor Live v3.9.0

Jaugeage 5

Résumé de Mesure

Date de mesure : mardi 30 août 2016

Informations sur le Site				Informations sur la Mesure			
Nom du Site				Opérateurs			
Numéro de Station				Embarcation / Moteur			
Localisation				Numéro de Mesure			
Informations sur le Système			Réglages Système			Unités	
Type de système	RS-S5		Enfoncement du Capteur (m)	0.05		Distance	m
Numéro de série	1969		Salinité (ppt)	0.0		Vitesse	m/s
Version du Firmware	3.96		Déclinaison Magnétique (degrés)	0.0		Surface	m2
Version de RiverSurveyor Live	3.9.0					Débit	m3/s
						Température	°C
Réglages du Calcul de Débit						Résultats de Débit	
Méthode de Suivi	Référence : Suivi de fond	Méthode Berge de Gauche	Berge Verticale			Largeur (m)	19.741
Méthode de Profondeur	Profondeur Faisceau Vert.	Méthode Berge de Droite	Berge Inclinée			Section (m2)	25.316
Système de Coordonnées	Coordonnées ENU	Type d'ajustement en Haut	Coeff. ajustable			Vitesse Moyenne (m/s)	0.226
		Type d'ajustement du Fond	Coeff. ajustable			Débit total (m3/s)	5.718
						Profondeur Maximale Mesurée	2.260
						Vitesse maximale mesurée	1.461

Résultats de Mesure																		
N° Tr	Heure		Distance				Vit. moy.			Débit						%		
#	Heure	Durée	Temp.	Trajet	Corrig.	Largeur	Surface	Bateau	Eau	Gauche	Droite	Haut	Médian	Fond	Total	LCTotal	Mesuré	
25	B	15:33:20	0:04:10	24.2	24.40	16.08	19.575	23.484	0.098	0.247	0.00	0.05	0.81	3.95	0.99	5.806	--	68.0
26	B	15:38:46	0:03:53	23.9	25.03	16.36	19.860	25.852	0.107	0.213	0.00	0.07	0.75	3.78	0.92	5.518	--	68.6
27	B	15:43:14	0:03:42	24.2	21.32	16.59	20.091	26.444	0.096	0.210	0.00	0.06	0.78	3.78	0.94	5.566	--	68.0
28	B	15:47:57	0:02:44	24.0	21.17	15.75	19.248	25.317	0.129	0.225	0.00	0.01	0.80	3.95	0.92	5.687	--	69.5
29	B	15:51:33	0:03:56	24.2	25.26	17.23	20.726	26.869	0.107	0.222	0.00	0.08	0.85	4.09	0.96	5.975	--	68.5
30	B	15:56:07	0:03:01	24.0	20.19	15.45	18.949	23.928	0.112	0.241	0.00	0.08	0.81	4.01	0.85	5.756	--	69.7
		Moyenne	24.1	22.90	16.24	19.741	25.316	0.108	0.226	0.00	0.06	0.80	3.93	0.93	5.718	0.000	68.7	
		Déviat. std	0.1	2.05	0.58	0.578	1.242	0.011	0.013	0.00	0.02	0.03	0.11	0.04	0.152	0.000	0.7	
		Ecart Type	0.0	0.089	0.036	0.029	0.049	0.101	0.059	0.000	0.383	0.038	0.029	0.047	0.027	0.000	0.010	
Durée d'utilisation : 0:21:26																		
Tr25=20160830153416r.rivr ; Tr26=20160830153939r.rivr ; Tr27=20160830154416r.rivr ; Tr28=20160830154904r.rivr ; Tr29=20160830155245r.rivr ; Tr30=20160830155726r.rivr ;																		

Commentaires
Tr25=20160830153416r.rivr - ; Tr26=20160830153939r.rivr - ; Tr27=20160830154416r.rivr - ; Tr28=20160830154904r.rivr - ; Tr29=20160830155245r.rivr - ; Tr30=20160830155726r.rivr - ;

Etalonnage du Compas
Etalonnage terminé
Erreur de cap: 0.00 deg
Ampleur moyenne: 0.00
Tangage: 0/0
Roulis: 0/0

Test du Système
Test Système : VALIDE

Les paramètres et réglages marqués avec un * ne sont pas les mêmes pour tous les fichiers

Rapport généré via SanTek RiverSurveyor Live v3.9.0

Annexe 3.
Coupes des travaux envisagés au niveau de
Saint-Jory (PK 234.000 à PK 240.700)

(4 pages)

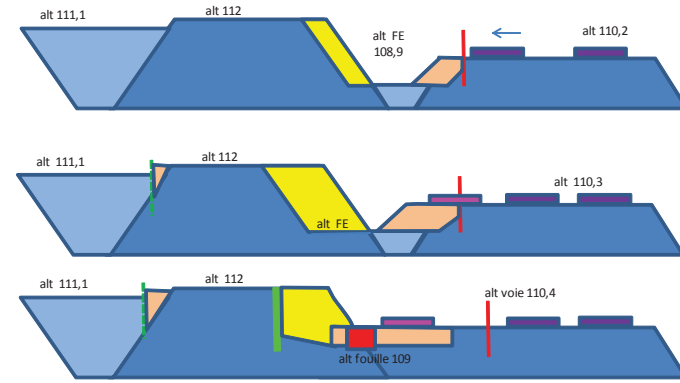
pente tout remblaiement à prendre : 3/2

Le schéma illustre la structure d'un ouvrage de franchissement de voie ferrée sous couche compactée. Les éléments sont représentés par des formes géométriques colorées et légendées :

- déblaiement sans remblaiement** (jaune) : zone supérieure de la structure.
- voies ferroviaires** (bleu foncé) : zone supérieure de la structure.
- voies ferroviaires actuelles** (bleu clair) : zone inférieure de la structure.
- déblaiement éventuel et remblaiement pour PF ferroviaire sous couche objectif compactage Q2** (orange) : zone intermédiaire de la structure.
- blindage provisoire** (rouge) : zone inférieure de la structure.
- mur de soutènement** (vert) : structure de soutènement.
- palplanche en canal** (bleu clair) : structure de soutènement.
- Quai** (gris) : structure de soutènement.
- drainage** (rouge) : structure de soutènement.

PK approximatif

Futur



ouvrage d'art à créer : cadre sans doute poussé entre culée pont ferroviaire et culée pont canal

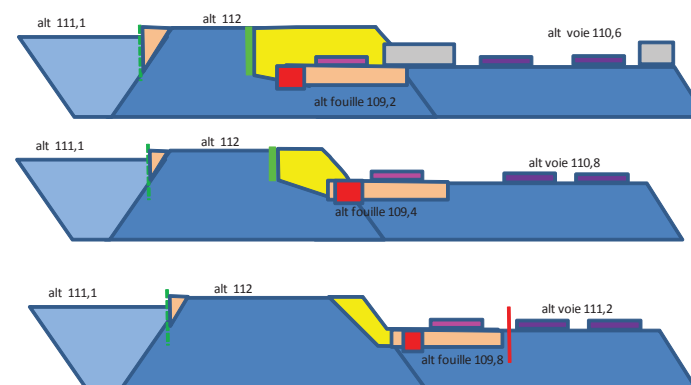
allongement du quai V1 coté nord de 60 m

allongement du quai V2 actuelle au nord de 60 m

création du quai le long de future voie

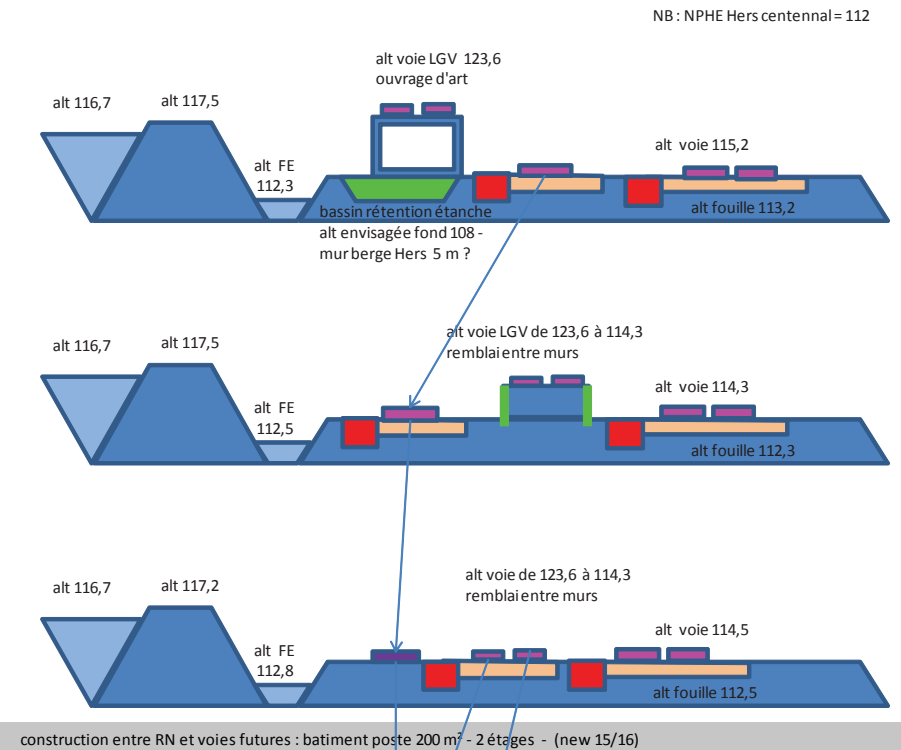
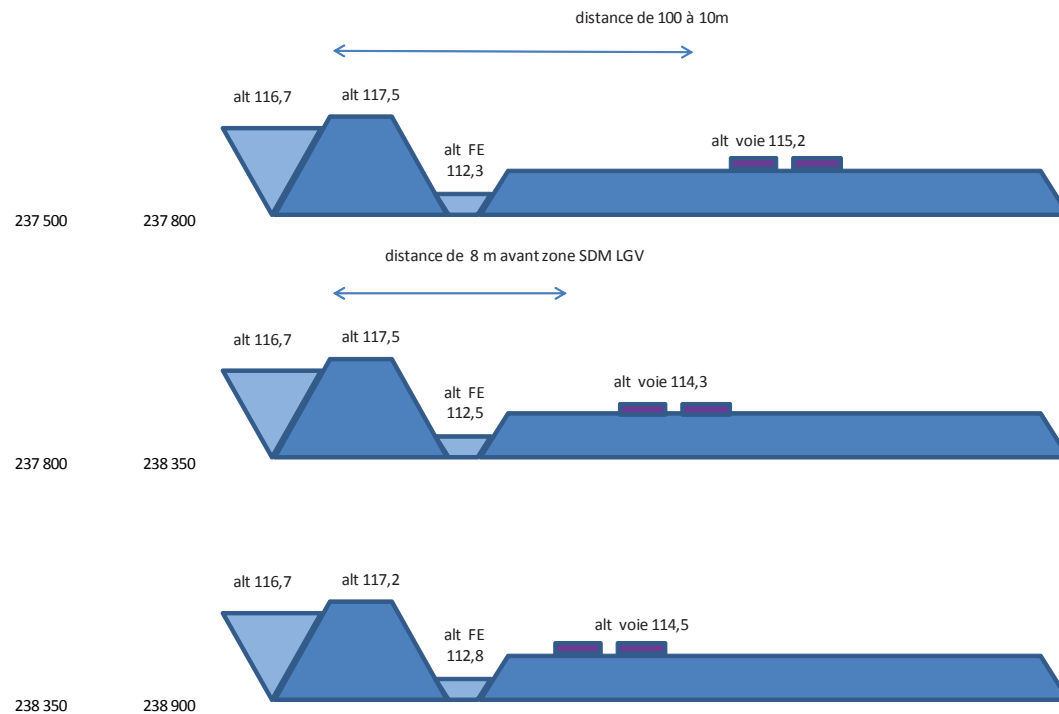
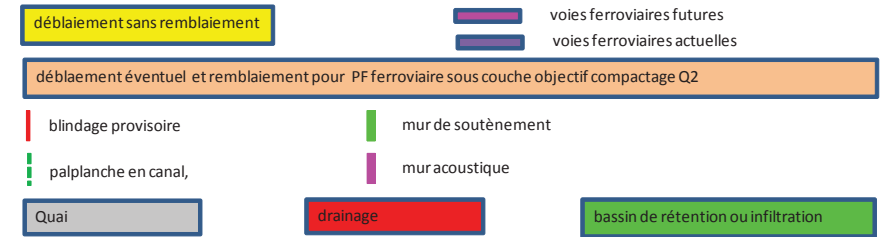
option possible : création d'une rampe PMR depuis le quai 2 coté Nord en passant dans le cadre poussé pour rejoindre une passerelle qui serait créée par la Mairie le long de l'ouvrage routier coté nord

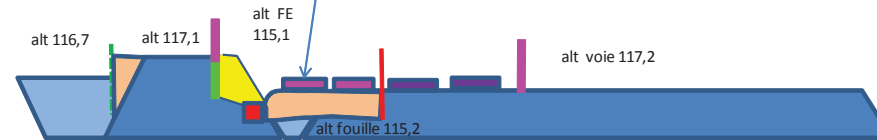
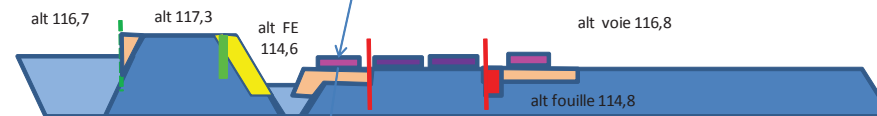
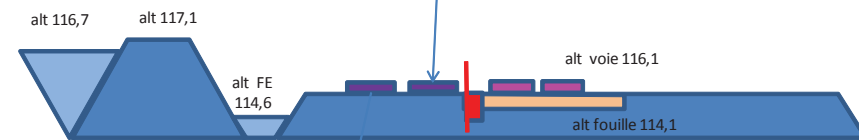
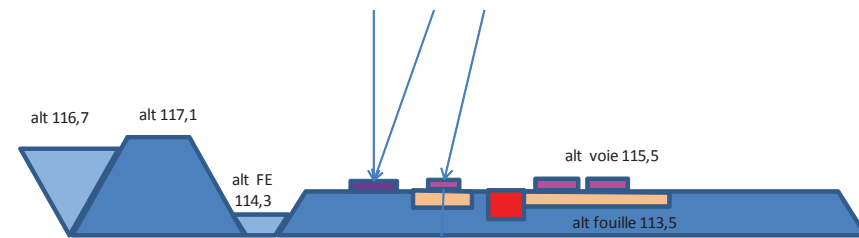
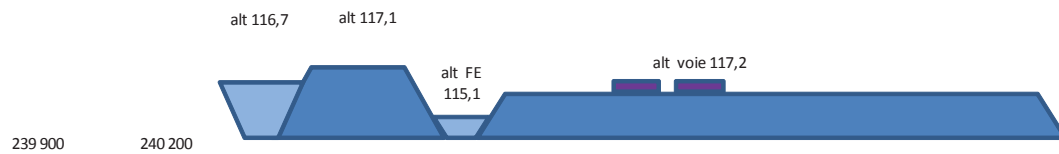
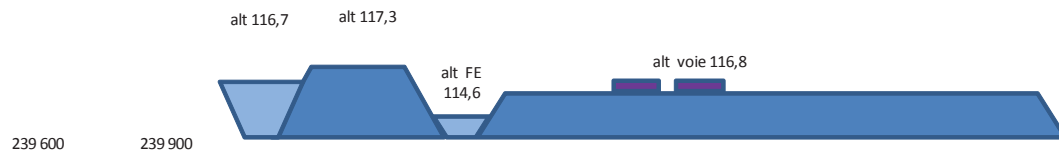
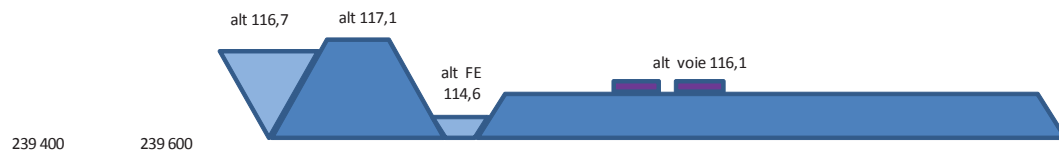
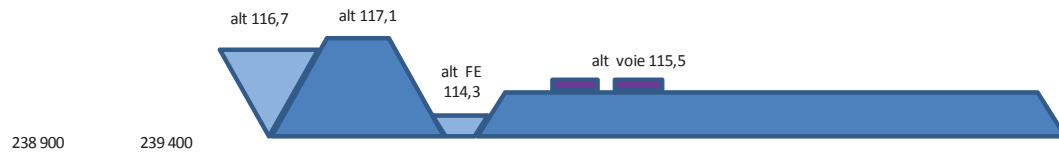
quai actuel le long de V1 et le long de V2



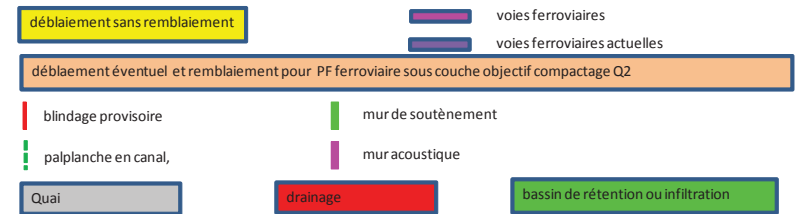
Zonage travaux
périmètre LGV
LOT 1 sondages - partie nord

HORS OA LGV jusque jonction avec projet RD 929 - km 238+350

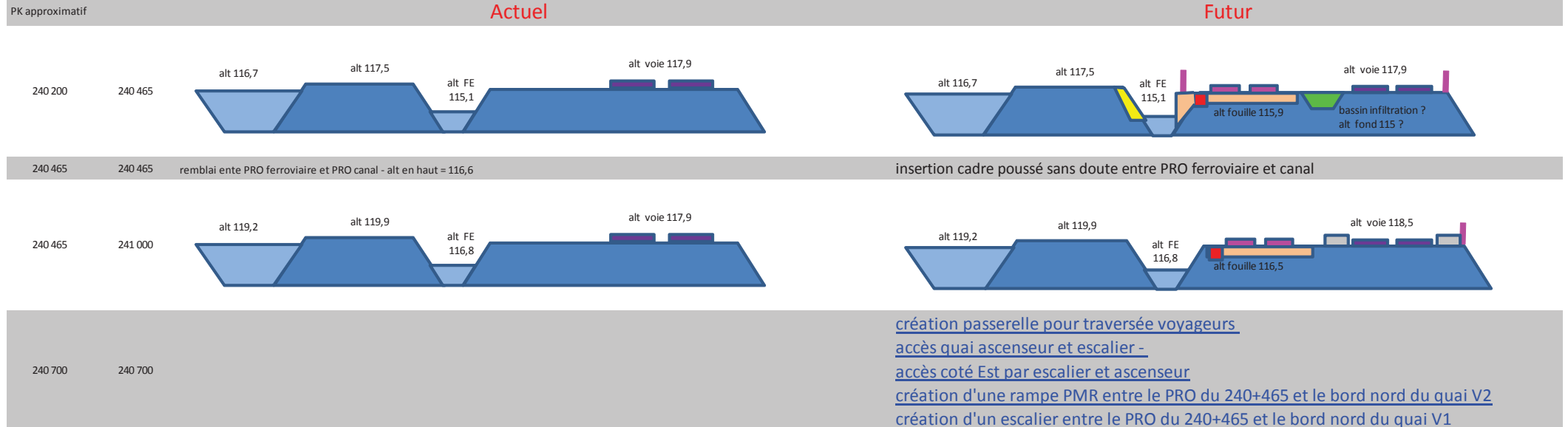




Zonage travaux
périmètre St Jory
LOT 2 sondages
km 240+300 à km 247+000
(hors OA et passerelle créer pour la halte)



zonage transversal



Annexe 4.

Paramètres de la modélisation hydrodispersive

(3 pages)

1. Régime transitoire du transport

Pour le calcul du transport, il est nécessaire d'utiliser un régime dit « transitoire » (variable en fonction du temps). Ainsi, des pas de temps ont été introduits dans le modèle. La durée totale de ces pas de temps est fixée suffisamment longue pour qu'un régime stabilisé soit atteint à chaque pas de temps. Cela entraîne des temps de calcul longs pouvant atteindre plusieurs heures, voire plusieurs jours.

Les résultats obtenus pour le champ de concentration en régime stabilisé sont d'autant plus précis que la discrétisation temporelle est fine, c'est-à-dire que le « nombre de Courant » sera petit. Ce nombre correspond à la distance parcourue par un élément de concentration pendant un pas de temps, divisé par la dimension d'une maille. Il doit donc être inférieur à 1, c'est-à-dire que le polluant passera bien dans toutes les mailles concernées. Ce dernier est défini comme suit :

Nombre de Courant :
$$Cr = U \times \frac{dt}{dx}$$

- avec U est la vitesse de l'écoulement dans la maille $U = \frac{k \times i}{\omega}$
- K est la perméabilité de l'aquifère (m/s),
 - i est le gradient hydraulique de la nappe (-),
 - ω est la porosité de l'aquifère (-) ;
- dt la durée du pas de temps ;
- dx la taille de la maille.

En prenant une perméabilité moyenne de 1.10^{-3} m/s, un gradient de la nappe 2 ‰, une porosité des alluvions de 10 % et une maille de 10 m, il est alors nécessaire de prendre un pas de temps inférieur à 5 j pour obtenir un nombre de courant inférieur à 1. Pour plus de précision et de simplicité dans l'interprétation des résultats, le pas de temps ici choisi est d'une journée ($Cr = 0,2$). Les simulations sont effectuées sur une durée de 500 jours.

2. Théorie des transferts de soluté

L'équation de transport de solutés s'écrit :

$$\frac{\partial[(\theta_m + \theta_f + K_D) \cdot C]}{\partial t} = \frac{\partial^2(D \cdot \theta_m \cdot C)}{\partial x^2} - \frac{\partial(q \cdot C)}{\partial x}$$

avec :

- C = Concentration dans l'eau mobile (kg de soluté / m³ d'eau mobile)
- S_v = Concentration volumique dans la phase immobile, identique dans l'eau liée et dans le solide, (kg de soluté / m³ d'eau liée) et (kg de soluté / m³ de terrain)
- θ_m = Teneur en eau mobile [-]
- θ_f = Teneur en eau liée [-]
- Rho_{KD} = Coefficient de partage volumique = teneur en eau équivalente du solide [-]
- q = Vitesse de Darcy [L T⁻¹]
- D = Coefficient de dispersion [L² T⁻¹]

On distingue dans cette équation un terme de convection, dépendant de la vitesse de Darcy, un terme de dispersion faisant intervenir le coefficient de diffusion moléculaire (migration liée au gradient de concentration) et un coefficient de dispersion cinématique, liée aux hétérogénéités des vitesses dans le milieu poreux.

Pour appréhender la migration sous l'effet de la seule convection, on utilise classiquement la notion de trajectoire, appelée aussi ligne de courant, qui traduit le cheminement d'une particule dans un milieu aquifère sous l'effet des gradients hydrauliques dont il est le siège. Lorsque les vitesses d'écoulement sont faibles, en raison d'une faible perméabilité ou d'un faible gradient hydraulique, la diffusion moléculaire prend le pas sur la convection et la dispersion cinématique.

3. Processus de transport et paramètres associés

Le transport d'un élément dissous en nappe est principalement contrôlé par les processus suivants :

- la convection, liée au déplacement de l'eau dans le milieu poreux. La vitesse de migration (u), encore appelée vitesse porale, est donnée par la formule $u = [K.i] / \omega$, avec K la perméabilité du milieu, i le gradient hydraulique et ω la porosité cinématique ;
- la dispersion hydrodynamique : ce phénomène est lié à la grande variabilité des cheminements possibles du soluté à travers les pores du milieu poreux, tant du point de vue de leur longueur que de leur direction autour de la trajectoire « moyenne ». Il est caractérisé par deux grandeurs : la dispersivité longitudinale (α_L) dans le sens de l'écoulement et la dispersivité transversale (α_T) dans un plan perpendiculaire aux écoulements, paramètres intrinsèques au milieu poreux. Les dispersivités longitudinales (σ_L) et transversale (σ_T) sont fonction de la distance parcourue (d) source/cible.

On admet généralement que :

$$\sigma_L = \frac{d}{10} \text{ et } \sigma_T = \frac{\sigma_L}{10}$$

La cible principale étant ici le lac de Capy puis le lac de Lagarde et la source la zone d'extension des gravières, la distance est de l'ordre de 1 200 m. Ainsi $\sigma_L = 120$ et $\sigma_T = 12$. A noter que σ_L doit être supérieur à la taille de la maille la plus fine (ici 10 m) afin de respecter les conditions sur le nombre de Péclet (flux massique par convection divisé par le flux massique par dispersion, doit être supérieur à 1). Cette condition est ici respectée.

- la diffusion moléculaire est due au mouvement moléculaire. Lorsqu'il existe un gradient de concentration dans un fluide, ici l'eau, celui-ci provoque la migration du produit dissous des zones où la concentration est la plus élevée vers les zones où la concentration est la plus faible. Ce processus dépend du coefficient de diffusion moléculaire du polluant considéré (D), égal au produit du coefficient de diffusion dans l'eau pure (D_0) par la tortuosité du milieu poreux (τ) ;
- à ces principaux processus, en fonction des propriétés de fixation du polluant considéré sur la matrice solide, s'ajoutent des phénomènes complexes d'adsorption-désorption qui retardent la migration des éléments dissous par rapport à celle de l'eau souterraine. On montre que lorsque les phénomènes d'adsorption sont linéaires, réversibles et instantanés, la vitesse apparente de déplacement de l'élément dissous est inférieure à celle de l'eau. Le rapport R entre la vitesse réelle de l'eau et la vitesse apparente de déplacement de l'élément dissous est appelé facteur de retard. Dans ces conditions, la vitesse de migration u de l'élément est donnée par la formule $u = [K.i] / [\omega.R]$ où R est le facteur de retard.

Rapport

Titre : SNCF Réseau – Projet d'aménagement Ferroviaire Nord-Toulouse (AFNT) – *Projet AFNT – Modélisation hydrogéologique – secteur nord Saint-Jory*

Numéro et indice de version : A84487/B

Date d'envoi : Novembre 2016

Nombre d'annexes dans le texte : 4

Nombre de pages : 72

Nombre d'annexes en volume séparé :

Diffusion (nombre et destinataires) :

1 ex. Client pdf

1 ex. Auteur

Client

Coordonnées complètes : SNCF - PSIG SO
7, boulevard de Marengo
31500 TOULOUSE
Téléphone : 05 61 10 11 11

Nom et fonction des interlocuteurs :

Tiphaine LECLERCQ – Pôle environnement et relations extérieures

Antea Group

Unité réalisatrice : Agence Ouest – Sud-Ouest

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Interlocuteur commercial : C. SUBIAS

Responsable de projet : M. TROCHU

Auteur : A. COUSIN

Secrétariat : O. MONCOURTOIS

Qualité

Contrôlé par : M. TROCHU

Date : 30 novembre 2016 – Version B

N° du projet : MPYP150274

Références et date de la commande : Notification du marché du 4 janvier 2016

Mots clés : Diagnostic, LGV, Modélisation

P. d A. Cousin
