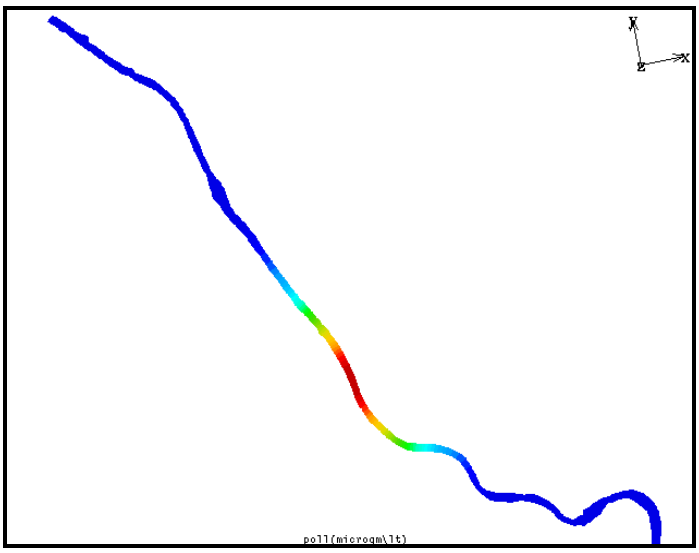
7, boulevard de la Libération
93200 Saint-Denis
tel : 33 (0)1.42.43.16.66
fax : 33 (0)1.42.43.50.33
email : : contact@fluidyn.com
http://www.fluidyn.com

Cabinet EATC
70 rue des Agriculteurs
81000 Albi
tel : 33 (0)5.63.76.21.11
fax : 33 (0)5.63.76.17.51

ETUDE DE LA PROPAGATION D'UNE NAPPE POLLUANTE SUR LE TARN ET SES AFFLUENTS

Simulations numériques et calage



RAPPORT FINAL - TARN ET GARONNE

Pour le compte de

Référence TRANSOFT	0705130B
Nombre de pages	49

Version	Date	Rédacteur	Vérificateur
1.0	3/04/2007	A. TRIPATHI, V. ROSALES	A. TRIPATHI
1.1	21/12/2007	Idem + T. MAILLIARD	Idem +C. SOUPRAYEN

SOMMAIRE

I INTRODUCTION 4

II LE TARN ET SES AFFLUENTS 5

II.1 COMPORTEMENT GENERAL DU TARN 5
II.2 LE TARN DANS LE TARN-ET-GARONNE 7

III METHODOLOGIE 9

III.1 LES ACTEURS 9
III.1.1 PRESENTATION DU COMITE DE PILOTAGE 9
III.1.2 PRESENTATION DU GROUPEMENT 10
III.2 METHODOLOGIE 10

IV OUTIL NUMÉRIQUE FLUIDYN-FLOWCOAST 12

V COLLECTE DES DONNEES 13

V.1 TRONÇONNEMENT DU LINEAIRE 13
V.2 DONNEES DE TERRAIN 13
V.3 DONNEES HYDRAULIQUES 14
V.4 DONNEES D'EMISSION ET CARACTERISTIQUES DES PRODUITS INJECTES 14

VI TRAITEMENT 15

VI.1 METHODOLOGIE D'OBTENTION DES RESULTATS 15

VII RESULTATS 17

VII.1 TRONÇON 8 : MIREPOIX – MONTAUBAN 17
VII.1.1 PRESENTATION DU TRONCON 17
VII.1.2 RESULTATS NUMERIQUES ET CALAGES 20
VII.2 TRONÇON 8BIS 29
VII.2.1 PRESENTATION DU TRONCON 29
VII.2.2 RESULTATS NUMERIQUES ET CALAGES 31

VIII CONCLUSION 40

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Linéaire des rivières étudiées 5
Figure 2 : Emplacement des stations hydrauliques 6

Figure 4 : Débit moyen mensuels à la station de Moissac 8
Figure 5 : Tronçons choisis pour les campagnes de traçage 13
Figure 6 : Tronçon 8(en vert le point d'injection, en mauve les points de mesure et en rouge le kilométrage 18
Figure 7 : Tronçon 8 suite (en vert le point d'injection, en mauve les points de mesure et en rouge le kilométrage 18
Figure 8 : Profil en travers à Mirepoix (à gauche)- Layrac (à droite) 20
Figure 9 : Profil en travers à Villemur (à gauche)- au Pont de Reynies (à droite) 20
Figure 10 : Profil en travers au Pont Neuf (Montauban) 21
Figure 11 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8 21
Figure 12 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8 22
Figure 13 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8 suite 22
Figure 14 : Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Bases Eaux du tronçon 8 23
Figure 15 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8 24
Figure 16 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8 24
Figure 17 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8 suite 25
Figure 18: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Moyennes Eaux du tronçon 8 25
Figure 19 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8 26
Figure 20 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8 26
Figure 21 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8 suite 27
Figure 22: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Hautes Eaux du tronçon 8 27
Figure 23: Tronçon 8bis (en vert le point d'injection, en mauve les points de mesure et en rouge le kilométrage) 30
Figure 24: Profil en travers au Pont Neuf de Montauban (à gauche) – Bas Quercy (à droite) 31
Figure 25 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8bis 32
Figure 26 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8bis 32
Figure 27 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8bis suite 33
Figure 28 : Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Bases Eaux du tronçon 8bis 33
Figure 29 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8bis 34
Figure 30 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8bis 34
Figure 31 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8bis suite 35
Figure 32: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Moyennes Eaux du tronçon 8bis 35
Figure 33 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8bis 36
Figure 34 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8bis 36
Figure 35 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8bis suite 37
Figure 36: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Hautes Eaux du tronçon 8bis 37
Figure 37 : Profil de vitesse (m/s) en condition intermédiaire Q=120 m^3/s le long du tronçon 8bis 38
Figure 38 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition intermédiaire Q=120 m^3/s le long du tronçon 8bis 38
Figure 39 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition intermédiaire Q=120 m^3/s le long du tronçon 8bis suite 39

LISTE DES TABLES

Table 1 : Débits moyens interannuels (Source : Agence de l'Eau) 6
Table 2 : Débits moyens mensuels et interannuels – 1961-1990 (Source : EDF) 7
Table 3 : Description du linéaire du Tarn dans le département du Tarn et Garonne 7
Table 4 : Membres du comité de pilotage 9
Table 5 : Données d'entrée pour le tronçon 8 Mirepoix – Montauban 20
Table 6 : Données d'entrée pour le tronçon 8bis Montauban - S.I.E. Bas Quercy 31

I INTRODUCTION

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne a été mandatée par les Conseils Généraux des départements de l'Aveyron, de la Haute-Garonne, du Tarn et du Tarn et Garonne, co-maîtres d'ouvrage, pour la réalisation d'une étude portant sur la propagation d'une nappe polluante sur le Tarn et quatre de ses affluents : le Dourdou, le Dadou, l'Agout et le Thoré.

Cette étude s'inscrit dans la procédure réglementaire préalable à la définition des périmètres de protection des captages en eau superficielle de type « cours d'eau ». Elle a pour objectif final la création d'un outil numérique permettant de simuler la propagation de pollutions accidentelles éventuelles sur le Tarn et ses quatre affluents étudiés. Elle consiste à analyser la propagation d'une nappe de polluant sur la rivière et certains de ses affluents dans le but de quantifier les temps de transfert, les durées de passage et les dilutions de nappe aux différents points sensibles de prélèvement (dont les stations de pompages). L'étude doit fournir aussi des éléments pour la mise en place d'un système d'alerte aux usagers.

La validité de l'étude de propagation de nappe polluante s'appuie fortement sur le couplage entre des modélisations numériques de type cours d'eau et des campagnes de traçage in situ organisées dans des conditions de débit caractéristiques rencontrées au cours de l'année.

Le bureau d'étude TRANSOFT International et le Cabinet E.A.T.C. ont été missionnés pour la réalisation de cette étude. Dans ce groupement, le mandataire TRANSOFT International est en charge de la partie liée aux simulations numériques de l'étude tandis que le cabinet E.A.T.C est en charge des campagnes expérimentales grâce auxquelles le modèle numérique est calé. Pour ces dernières, E.A.T.C a reçu l'appui logistique du bureau d'études LITTORALIS.

Le rapport qui suit fait référence au rapport de synthèse de l'étude et en reprend les éléments essentiels. Il contient une mise en perspective de l'étude de traçage et de la modélisation spécifiquement pour le département Tarn – et – Garonne (82). En particulier un exemple d'usage de l'outil de modélisation par abaques pour un cas accidentel réaliste (plausible) est fourni. Il contient une description à la fois de la typologie de l'accident, de la chronologie des événements et des résultats de modèles fournissant l'aide à la décision pour les exploitants et zones susceptibles d'être affectées sur le département.

II LE TARN ET SES AFFLUENTS

II.1 COMPORTEMENT GENERAL DU TARN

Le Tarn fait partie du bassin Adour-Garonne qui couvre les bassins versants des cours d'eau qui s'écoulent vers l'Atlantique depuis les Charentes, le Massif central et les Pyrénées.

Le Tarn est une rivière tributaire de la Garonne qui prend sa source dans le Massif Central. Il coule sur 375 km avec un débit irrégulier et draine un bassin versant de 15 500 km². Il traverse 4 départements : l'Aveyron, le Tarn ; la Haute-Garonne et le Tarn-et-Garonne et traverse plusieurs villes dont les principales sont Millau, Albi et Montauban.

La partie concernée par cette étude est comprise entre Millau et Montauban (figure 1) :

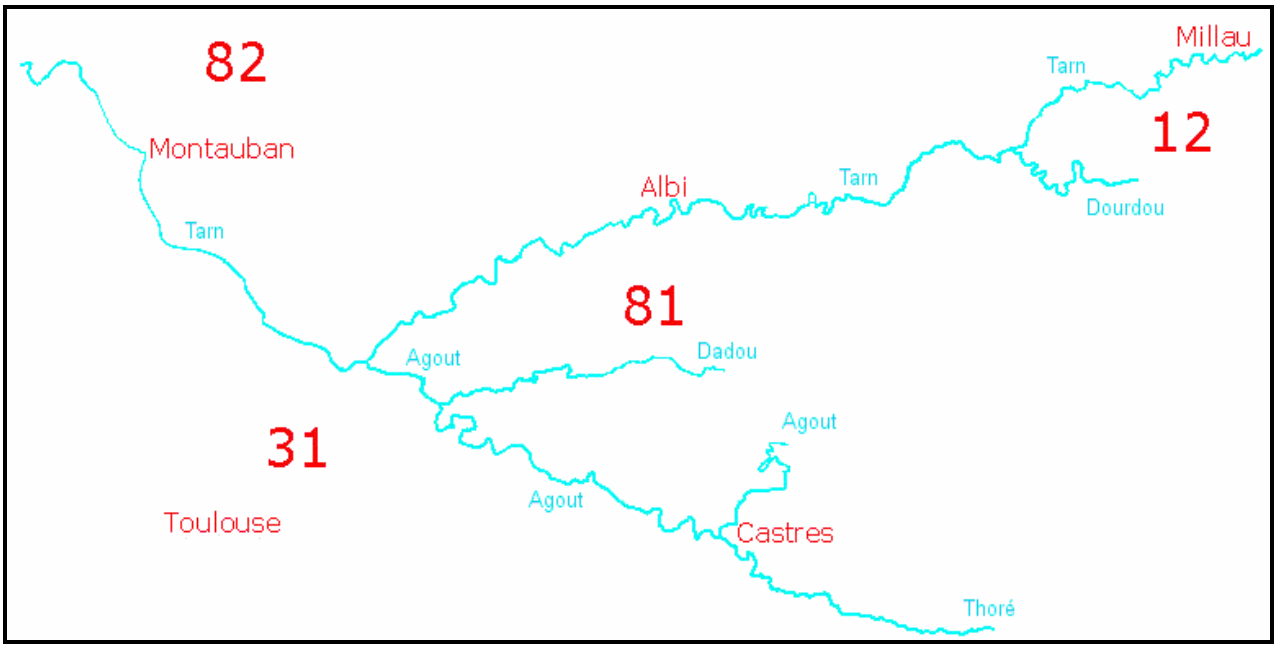


Figure 1 : Linéaire des rivières étudiées

Sur ce domaine d'étude, le Tarn a pour affluents, le Dourdou et l'Agout (en rive gauche), ainsi que l'Aveyron (en rive droite) très en aval du bassin. L'Agout présente à son tour deux affluents, le Dadou et le Thoré. Les différentes rivières associées présentent ainsi un linéaire d'environ 400 kilomètres, de Millau à Montauban.
Les bassins traversés sont de natures très diverses : moyenne vallée à partir de Millau, jusqu'au Saut de Sabo et basse vallée ensuite pour le Tarn, haute vallée pour l'Agout et ses affluents.

Le Tarn est utilisé comme ressource d'eau potable par les départements traversés. Ainsi 250 000 habitants des départements de l'Aveyron, du Tarn, de la Haute-Garonne et de Tarn-et-Garonne sont alimentés en eau à partir de la rivière Tarn et de ses affluents. Le long du linéaire étudié, ont été recensés 23 points de captage et 18 producteurs d'eau.

D'autre part, plusieurs zones d'activités industrielles et villes proches des prises d'eau présentent un potentiel non négligeable de danger de déversement de produit toxique conduisant à un risque de pollution accidentelle.

Une dizaine de stations DIREN enregistrant les débits journaliers du Tarn et de ses affluents est distribuée le long du linéaire (figure 2). Il s'agit :

- Pour le Tarn : A Millau, à Saint Victor et Melvieu (Pinet), à Marsal (Pécotte), et à Villemur sur Tarn.
- Pour l'Agout : A Castres et Lavaur.
- Pour le Dourdou : A Vabres l'Abbaye.
- Pour le Dadou : A Montdragon.
- Pour le Thoré : A Labruguière.

Les emplacements de ces différentes stations sont repérés sur l'image suivante :

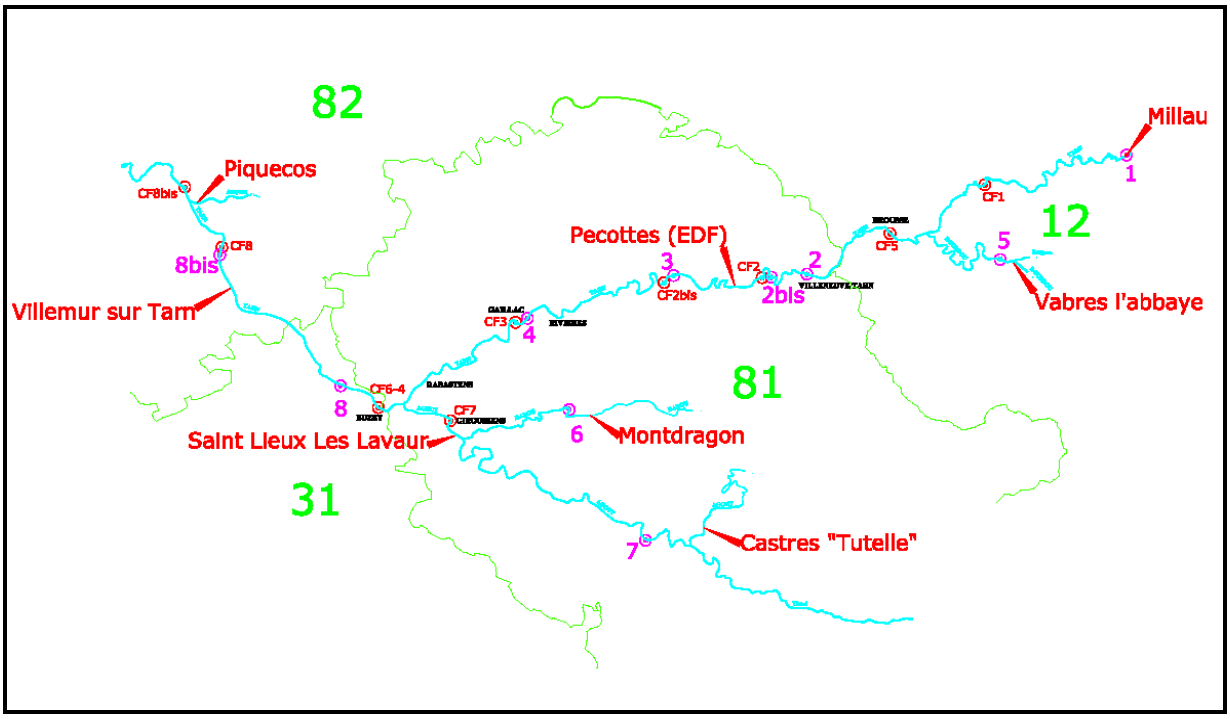


Figure 2 : Emplacement des stations hydrauliques

D'autre part, les débits moyens interannuels sur les cours d'eau sont disponibles auprès de EDF qui possède un grand nombre d'ouvrages le long du Tarn et de ses affluents, ainsi qu'auprès de l'Agence de l'Eau. Les tableaux qui suivent fournissent les éléments caractéristiques des cours d'eau (débit, bassin versant, étiage, et crue) et la variabilité saisonnière.

Table 1 : Débits moyens interannuels (Source : Agence de l'Eau)

Débits caractéristiques des cours d'eau en m^3/s (1970-2000)					
Rivière	**Station**	**BV km²**	**Crue décennale**	**Débit moyen**	**Etiage VCN10**
Agout	Lavaur	2565	630	39	3,6
Tarn	Pécotte	4500	1400	86	12
Tarn	Villemur	9100	1800	152	21

Table 2 : Débits moyens mensuels et interannuels – 1961-1990 (Source : EDF)

Débit (m_3/s)	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Octo	Nov	Déce	Moyenne
Pinet	83	92	75	82	64	36	20	16	22	50	67	70	56,2
Pécotte	127	148	117	121	93	51	28	22	28	65	90	105	82,6

II.2 LE TARN DANS LE TARN-ET-GARONNE

Dans ce département (sur le domaine d'étude), le Tarn suit le même comportement que dans le département précédent (Haute – Garonne), c'est-à-dire une rivière de plaine inondable ayant un lit large et un écoulement lent.

Table 3 : Description du linéaire du Tarn dans le département du Tarn et Garonne

	Longueur	Dénivelé	Ouvrages
Nohic – La Bastide Saint Pierre	10 km	2 m	- Seuil hydro-électrique de Nohic (chute de 2 m)
La Bastide Saint Pierre – Barry	25 km	10 m	- Barrage hydro – électrique de Corbarieu (chute de 2 m) - Barrage hydro – électrique de Sapiac (Montauban) (chute de 2 m) - Barrage hydro – électrique de Palisse (Montauban) (chute de 3 m) - Barrage hydro – électrique de Lagarde (chute de 3 m)

Dans cette partie, la pente du Tarn est faible. Le Tarn est ainsi découpé en biefs entre chaque usine hydro – électrique.

Les données suivantes, fournies par la banque de données Hydro France, sont issues de données calculées sur 57 ans. Elles montrent le régime général du Tarn au niveau de Moissac à 20 km de Bas Quercy (fin de la zone d'étude). Cette station est située en aval de la confluence avec l'Aveyron.

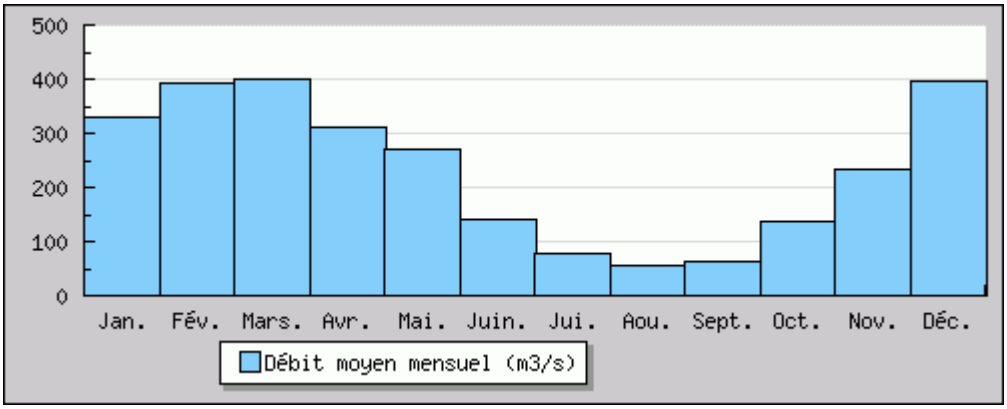


Figure 3 : Débit moyen mensuels à la station de Moissac

Les fluctuations de débits du Tarn sont très marquées. Les hautes eaux d'hiver atteignent un débit mensuel d'environ 400 m³/s. Parallèlement, en période estivale de basses eaux, les débits mensuels chutent à environ 50 m³/s.

III METHODOLOGIE

III.1 LES ACTEURS

III.1.1 PRESENTATION DU COMITE DE PILOTAGE

Le maître d'ouvrage chargé du suivi de l'étude de propagation d'une nappe polluante sur le Tarn est l'Agence de l'Eau Adour-Garonne aidée dans le déroulement par un comité de pilotage. Le comité de pilotage est constitué des Conseils Généraux des départements concernés (le Tarn, l'Aveyron, la Haute-Garonne et le Tarn-et-Garonne), des syndicats des Eaux, des MISE et des DDASS, des représentants des collectivités et d'EDF.

Table 4 : Membres du comité de pilotage

Organisme	Adresse
MISE, D.D.A.F. de l'Aveyron	Route de Moyrazès, B.P. 3370 12033 RODEZ Cédex
Conseil Général de l'Aveyron	Direction des Services Techniques, Hôtel du Département B.P. 724, 12007 RODEZ Cédex
LDE 81	32 rue Gustave Eiffel, 81014 ALBI
EDF	G.E.H. Tarn Agout, Z.I. Albitech, rue Gustave, 81012 ALBI Cedex 09
D.D.A.S.S. de l'Aveyron	4 rue Paraire, 12000 RODEZ
S.I.A.E.P Rives du Tarn	Cité Administrative, 78 avenue de Millau, B.P. 21 12170 REQUISTA
Conseil Général du Tarn	Service Eau et Environnement Hôtel du Département, 81014 ALBI Cédex
D.D.A.S.S. du Tarn	69 avenue du Maréchal Foch, 81013 ALBI Cédex
MISE, D.D.A.F. du Tarn	Centre Administratif – B.P. 85 Avenue du Maréchal Joffre 81013 ALBI
MISE D.D.A.F. de la Haute Garonne	Boulevard A. Duportal – Bât. E, 31074 TOULOUSE Cédex
D.D.A.S.S. de la Haute Garonne	58 rue Clément Ader, 31600 MURET
LDE 31 / Conseil Général de la Haute-Garonne	Laboratoire Départemental de l'Eau 76 chemin Boudou, 31140 LAUNAGUET
MISE D.D.A.F. de Tarn et Garonne	460 avenue de Monclar, 82017 MONTAUBAN Cédex
D.D.A.S.S. de Tarn et Garonne	7 allée de Mortarieu, B.P. 768, 82013 MONTAUBAN Cédex
Conseil Général de Tarn et Garonne	Service Environnement, Rue de la République, 82000 MONTAUBAN
A.E.A.G. Délégation Régionale de Toulouse	46, avenue du Général de Croutte, Basso Cambo, 31100 TOULOUSE
A.E.A.G. Délégation Régionale de Rodez	Rue de Bruxelles – Bouran, BP 3510, 12035 RODEZ Cedex 9
Mairie de Saint Juery	81160 SAINT JUERY

III.1.2 PRESENTATION DU GROUPEMENT

Le groupement chargé de la réalisation de l'étude est composé de trois sociétés :

- Transoft International, mandataire et responsable de l'analyse et de la simulation numérique
- Cabinet EATC, sous-traitant et responsable des campagnes expérimentales
- Littoralis/Hocer, sous-traitant, apportant un appui logistique au Cabinet EATC sur les campagnes expérimentales.

Les deux principaux acteurs (TRANSOFT et EATC) sont présentés brièvement ci-dessous.

TRANSOFT International est une société française fondée en 1987. Elle a pour vocation d'offrir des logiciels et des services en mécanique des fluides en France et en Europe, et à partir de ses filiales aux Etats-Unis, en Grande Bretagne, en Inde ainsi que via ses représentants en Corée et au Japon.
Les services proposés à partir des logiciels TRANSOFT sont de deux catégories et se basent sur plusieurs grandes familles composées de logiciels dédiés aux différents besoins de secteurs industriels spécifiques: Mécanique des Fluides / Process Industriel et Environnement et Risques (logiciels Panache recommandés par l'EPA – Environmental Protection Agency), Flowcoast, Pollusol, …).

Le **Cabinet EATC** (Etudes – Assistances Techniques aux Collectivités), crée en avril 1984 est un cabinet de métrologie, d'études techniques et de conseils dans le domaine de l'eau. Il propose ses services aux collectivités et aux industriels préoccupés de projet d'eau potable, d'assainissement des eaux usées et eaux pluviales : transport, collecte et traitement des eaux.
A vocation régionale, la société intervient auprès de sa clientèle sur les régions MIDI-PYRENEES, AQUITAINE, PACA et LANGUEDOC – ROUSSILLON pour l'essentiel.
Composé d'une dizaine de personnes ; ingénieurs et techniciens, ce cabinet est reconnu sur le plan régional et bénéficie d'une expérience de plus de vingt ans dans la profession se positionnant ainsi comme l'une des références du métier.

III.2 METHODOLOGIE

La méthodologie suivie se décline de la manière suivante :
Dans un premier temps, une campagne de traçage est nécessaire pour comprendre la dispersion d'un traceur miscible dans différentes conditions hydrologiques et sur différents emplacements stratégiques le long du Tarn. Les données obtenues ont servi de base au calage du modèle numérique de simulation et à la construction d'une base de données de pollutogrammes alimentant des abaques, base de l'outil numérique d'analyse. Afin que le modèle numérique soit calé et validé pour les régimes hydrauliques les plus courants, les opérations expérimentales ont été réalisées selon les trois conditions hydrauliques différentes que sont les basses eaux, les moyennes eaux et les hautes eaux du cours d'eau étudié.
La complexité géomorphologique du Tarn et ses affluents est prise en compte dans les simulations numériques autant que possible compte tenu des données disponibles. Les simulations numériques ont été menées pour chaque tronçon dans les conditions des campagnes expérimentales afin de valider les hypothèses retenues pour les données manquantes et caler le modèle de terrain. Partant de paramètres de modèles calés sur le traçage, des simulations numériques complémentaires ont été menées pour compléter la base de données expérimentale et numérique ainsi établie en :

- Ajoutant des pollutogrammes avec des conditions de débit intermédiaires sur les tronçons tracés
- Complétant la base de données par les pollutogrammes des tronçons n'ayant pas été tracés.

Enfin, un outil d'exploitation de la base de données a été développé sous forme d'abaque. Cet outil

effectue des interpolations entre pollutogrammes dans la base de données sur la plate-forme Windows Excel, ce qui présente une certaine souplesse d'installation et d'emploi. De plus, la base de données pourra être étendue par de nouvelles mesures ou des nouvelles simulations numériques.

Dans la pratique, l'étude a été divisée en quatre phases :

- **Phase A : Préparation des campagnes (tronçons, injections et prélèvement) et phase de terrain préalable**
  - Coordination et identification des contacts
  - Collecte et analyses des données hydro (profils en long, et en travers aux biefs et zones fines), débits aux points de mesures du réseau, accès à Carthage et aux données de la DIREN et des différents acteurs
  - Identification des tronçons
  - Création des modèles numériques de terrain
  - Modélisations de préparations permettant d'évaluer la masse de traceur à injecter
  - Identification des zones de prélèvement et d'échantillonnage optimaux
  - Validation et planification

- **Phase B : Campagnes de traçages (3 campagnes), analyses et synthèses**
  - Analyse des conditions météorologiques pour chaque période de l'année (ou campagne)
  - Suivi des relargages ou soutiens d'étiage
  - Suivi des données de réseau
  - Préparation des équipements et mise à poste
  - Information et Alerte pour les usagers du tronçon concerné (et en aval)
  - Campagne de mesure (équipes sur site, déplacement et surveillance) pendant la durée minimale du traçage (jusqu'à 7 jours)
  - Analyses en temps réel des échantillons prélevées dans la nappe, mesures par équipement portable
  - Analyses en laboratoire
  - Réalisation du bilan : conditions de mesure, mesures, préparation et interprétation des données pour le calage

- **Phase C : Affinement des modèles et calage**
  - Analyse des paramètres sensibles et robustes pour le calage
  - Calage des modèles pour chacune des conditions de campagne (réalisation de 21 simulations)
  - Simulations avec le modèle calé pour des scénarios nouveaux (débits différents)

- **Phase D : Mise en place d'un outil d'exploitation des résultats**
  - Réalisation des abaques et mise en format des données (cartographies, courbes dans le temps aux points de pompage), analyse des temps de transfert et des concentrations pour chaque scénario.
  - Création d'un outil d'interpolation des pollutogrammes basé sur Excel.

IV OUTIL NUMÉRIQUE FLUIDYN-FLOWCOAST

L'outil général de modélisation utilisé pour cette étude est la plateforme *fluidyn*-FLOWCOAST.
Elle permet de créer des modèles numériques de terrain complets, de définir simplement les conditions aux limites (débits d'entrée, hauteur d'eau…), de calculer les écoulements et de réaliser des dispersions de polluants.
fluidyn-FLOWCOAST est un progiciel dédié à la simulation mathématique tridimensionnelle des écoulements à surface libre. Ces logiciels sont utilisés pour la compréhension de l'hydraulique et des phénomènes associés des rivières, lacs, estuaires..

Le module hydrodynamique résout les équations 3D de l'hydrodynamique à surface libre (équations de Navier Stokes avec hypothèse de répartition hydrostatique de la pression). Les paramètres multiples, dont le frottement sur le fond, les courants de densité, les échanges thermiques, la turbulence, sont intégrés. La turbulence est prise en compte par plusieurs sous modèles adaptés selon le besoin. Les équations de la température et de densité sont résolues si nécessaire. De même l'analyse des résultats de simulations est multiple : cartes, points de mesures virtuels, analyse de concentration, profils et sections en travers et en coupe. Les paramètres d'injection instantanée ou continue (positions, volume et concentration points multiples, décalages dans le temps..) sont directement proposés au début des simulations.

Dans le cadre de cette étude, la modélisation d'écoulements à surface libre et la dispersion ont été menées grâce au système d'équations moyennées sur la verticale de Navier Stokes (équations de Saint Venant). L'intégration du temps est assurée par la méthode implicite d'Euler du premier ordre.

Les hypothèses utilisées sont:

- Pression hydrostatique sur la verticale,
- Écoulement incompressible et homogène,
- Profondeur faible par rapport à l'échelle horizontale du modèle
- Écoulement bien mélangé sur la verticale.

Pour la simulation de propagation sur les affluents, les conditions limites suivantes sont nécessaires:

- Débit de l'affluent à l'amont (entrée).
- Profondeur à l'aval (sortie).

La vitesse en amont est déduite à condition de connaître la section transversale en amont. Pour cela, des estimations de la pression et de la hauteur de l'eau à l'amont sont faites en extrapolant les conditions à l'aval. A l'aval, la pression de l'écoulement est calculée avec l'hypothèse de pression hydrostatique.
L'effet de la rugosité est calculé par un terme source dans les équations de quantité de mouvement sur la direction x et y respectivement avec la formulation empirique de Manning.
Ainsi, la problématique physique est traitée comme dans le cas d'écoulement incompressible, avec la masse volumique remplacée par la hauteur de l'eau (h), et la pression par la pression hydrostatique correspondant à la hauteur de l'eau.

V COLLECTE DES DONNEES

V.1TRONÇONNEMENT DU LINEAIRE

Figure 4 : Tronçons choisis pour les campagnes de traçage

Les points d'injection correspondent aux départs de chaque tronçon.
Un certain nombre de données d'entrée sont nécessaires afin d'effectuer la simulation numérique 3D de la propagation d'une nappe polluante en rivière avec ***fluidyn*- FLOWCOAST**.
Ces données d'entrée peuvent être regroupées en trois catégories : les données de terrain, les données hydrauliques et les données d'émission.

V.2DONNEES DE TERRAIN

Les données de terrain concernent la représentation géométrique du lit de la rivière. Elles comprennent :

- le tracé de la rivière (issu de la carte IGN au 1/25000),
- la bathymétrie de la rivière,
- la rugosité du lit de la rivière,
- la pente de la rivière
- la présence d'éventuels obstacles le long du cours d'eau.

La bathymétrie peut être fournie sous forme de cartes représentant des semis de points ou des lignes d'isoprofondeur, ou par des profils en travers du lit de la rivière donnée à intervalles proches et réguliers le long du linéaire du cours d'eau. Compte tenu de la grande extension du linéaire (400 km) et des différents types de vallées traversées, relativement peu de profils en travers ont pu être trouvés et utilisés. L'interpolation entre deux profils a été faite en se basant sur la carte IGN, en supposant une définition de la carte IGN en période de moyennes eaux.
La rugosité représente la taille moyenne des éléments reposant sur le lit de la rivière. Elle peut être donnée sous la forme d'un coefficient de rugosité (équivalent Manning ou Chézy), ou bien directement par la taille des éléments concernés. Elle a été déterminée pour le Tarn à partir de deux

études : « l'étude d'eutrophisation du Tarn (1994-1995) » et « l'étude préalable à la restauration et à l'entretien du Tarn de Trébas à Albi (1996) ».
La pente peut être une moyenne sur plusieurs kilomètres (sur un bief ou un tronçon homogène). Elle a été extraite, pour la totalité du linéaire, **des profils en long du Tarn et de ses affluents**, **fournis par la DIREN.**
Enfin, les obstacles (biefs, seuils, barrages) doivent être définis par leur positionnement, leur géométrie et leur fonctionnement hydraulique (éventuellement). La localisation des obstacles sur le Tarn a été fournie par une étude réalisée précédemment par le cabinet GEODES pour le compte de l'Agence de l'Eau. Cependant le détail des écoulements associés aux ouvrages n'a pas été simulé, leur effet global a été traduit en perte de charge.

V.3DONNEES HYDRAULIQUES

Les données hydrauliques concernent la définition de l'écoulement de la rivière. Pour chaque tronçon modélisé, il est impératif de spécifier un débit massique ou volumique et une hauteur d'eau associée à ce débit pour la configuration modélisée.
Les débits présents lors des campagnes sont disponibles aux stations DIREN citées précédemment. Pour le calage, les débits modélisés à chaque tronçon correspondent à ceux de la station la plus proche.
Cependant, aucune donnée de hauteur d'eau n'est disponible pour ces stations. De ce fait, les informations sur la hauteur d'eau en certains points du Tarn ont été récupérées dans les deux rapports cités précédemment (l'étude d'eutrophisation du Tarn (1994-1995) et l'étude préalable à la restauration et à l'entretien du Tarn de Trébas à Albi (1996)). Les hauteurs d'eau dans le reste du domaine ont dû être interpolées.

V.4DONNEES D'EMISSION ET CARACTERISTIQUES DES PRODUITS INJECTES

La définition de l'émission comporte plusieurs éléments : la durée de l'émission, le positionnement du point de rejet dans l'espace et la masse de polluant ou de traceur injecté, disponibles lors de la campagne de traçage. Les caractéristiques physico chimiques du produit injecté sont la densité du produit et ses coefficients de diffusion. Les caractéristiques physico chimiques de la rhodamine et de la fluorescéine ont été extraites de la littérature.
Le principe du traçage et des simulations numériques est celui d'un polluant miscible dont la diffusion verticale se traduira par une homogénéisation rapide transversalement au courant.
Il est important de décrire plus précisément la modalité d'injection lors des opérations de traçage et le traitement effectué lors des simulations. Le produit traceur préalablement mélangé dans un conteneur (seau) subit, pour une masse initiale de produit pur, une première dilution puis est injecté en un ou plusieurs points de la rivière. Cette étape d'injection est réalisée en quasi instantané mais la durée de déversement (en particulier pour les faibles débits) est de plusieurs dizaines de secondes, voire la minute. Selon le débit du cours d'eau la concentration initiale et l'extension de la nappe au temps zéro varient donc et l'information nécessaire n'a pas été relevée précisément. Pour la simulation il a donc été retenu une injection instantanée sur une ou plusieurs mailles de la quantité de produit introduite. Les incertitudes liées à cette description instantanée de l'injection restent donc fortes. Elles se traduiront avant calage par des différences d'amplitude au pic (et plus marginalement de largeur de nappe) pour le premier point tracé (point de bon mélange).

VI TRAITEMENT

VI.1 METHODOLOGIE D'OBTENTION DES RESULTATS

Dans un premier temps, une simulation est lancée avec les débits observés lors de la campagne expérimentale pour obtenir une solution stationnaire pour l'écoulement qui fournit la distribution de la hauteur h et la vitesse moyennée sur la verticale. Ensuite, une deuxième simulation est lancée pour modéliser la dispersion du polluant à partir d'une source déterminée avec une concentration initiale donnée. Le polluant est considéré comme un scalaire passif miscible.

Les résultats de dispersion sont comparés aux pollutogrammes fournis par les campagnes. La comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux peut se faire sur les temps de passage du pic de la nappe polluante et sur l'évolution de la dilution au cours du temps le long de chaque tronçon.
Les variables pouvant être ajustées sont : la hauteur de l'eau, qui agira sur le temps d'arrivée de la nappe, et le coefficient de rugosité, qui agira sur le temps d'arrivée de la nappe et sur sa durée de passage.
Il n'est pas possible d'ajuster l'amplitude du pic de la nappe. En effet, contrairement à ce qui se passe sur le terrain, la simulation est conservative, c'est-à-dire que la masse de polluant injectée est entièrement restituée. Il n'y a pas de perte due à une dégradation chimique, un dépôt sur les berges ou autres. La simulation reste de ce fait majorante en terme de concentrations attendues, mais cela n'a aucune influence sur les temps de passage de la nappe. Par ailleurs, compte tenu de l'incertitude sur la modalité d'injection, l'amplitude du pic n'est pas un paramètre critique pour le calage.
Chaque débit (basses, moyennes et hautes eaux) nécessite son propre jeu de paramètres, car la paire {hauteur d'eau, rugosité} est uniquement valable pour les conditions pour lesquelles elle a été calée.

Une fois le calage obtenu sur un tronçon, des résultats intermédiaires (entre deux pollutogrammes expérimentaux) sont obtenus, à raison d'un pollutogramme numérique tous les kilomètres, de manière à enrichir la base de données.
De plus, pour certains tronçons, les débits observés lors des campagnes de traçage ne correspondent pas aux débits moyens mensuels attendus ou ne sont pas suffisamment représentatifs. Une série de simulations complémentaires a permis de compléter les résultats pour les débits manquants. Il s'agit des tronçons et débits suivants :

Table 5 : Simulations complémentaires

Tronçon	Simulations complémentaires
n°1	90 m^3/s
n°2	55 m^3/s
n°2bis	50 m^3/s
n°2 bis	120 m^3/s
n°3	55 m^3/s
n°3	200 m^3/s
n°6	150 m^3/s

Tronçon	Simulations complémentaires
n°8bis	120 m^3/s

Un certain nombre de remarques doivent être faites sur les difficultés rencontrées lors des calages :

- Sans données spécifiques sur la bathymétrie et le fonctionnement des barrages, il est impossible de simuler leurs actions. Il a donc été décidé de les modéliser au « fil de l'eau », c'est-à-dire, de considérer un écoulement continu et de modéliser leur influence par des paramètres locaux spécifiques : débit, hauteur d'eau et rugosité du lit. Il convient de noter cependant que les pollutogrammes, aussi bien numériques qu'expérimentaux, ne sont donc plus valables, dès que les barrages ne présentent pas le même fonctionnement que lors des campagnes de traçage. Les conditions de fonctionnement des barrages lors des campagnes de traçage sont explicités dans le corps du rapport détaillé de traçage ainsi que dans ses annexes.
- Certains tronçons ont des points cibles au-delà d'une confluence. C'est le cas des tronçons 4, 5, 6 et 8bis. C'est particulièrement problématique pour le tronçon 6 dont le secteur entre le point de bon mélange et le point cible comprend 2 confluences. Pour les tronçons 4 et 5, les simulations se sont arrêtées juste avant la confluence, car des points intermédiaires étaient disponibles sur le même cours d'eau. Pour le tronçon 8 bis, le calage a donné de bons résultats même au-delà de la confluence, peut-être en raison des débits élevés du Tarn à cet endroit. Pour le tronçon 6 en revanche, même si le calage donne d'assez bons résultats sur le point cible, il n'est pas possible de dire si les pollutogrammes intermédiaires sur le Dadou et sur l'Agout sont corrects en l'absence de points de comparaison sur ces cours d'eau.
- Les tronçons en moyenne vallée (tronçons 1, 2 et 2 bis) donnent des résultats de simulation très différents de ceux des campagnes de traçage pour les trois conditions de débits. La raison est sans doute le manque de données bathymétriques, dans un secteur où la bathymétrie joue un rôle crucial. Les simulations sur ces secteurs ont donc été laissées de côté et n'ont pas été intégrées à la base de données des abaques. D'autre part, les résultats des campagnes sur le tronçon 2 présentent des pics de concentration très élevés difficiles à expliquer.

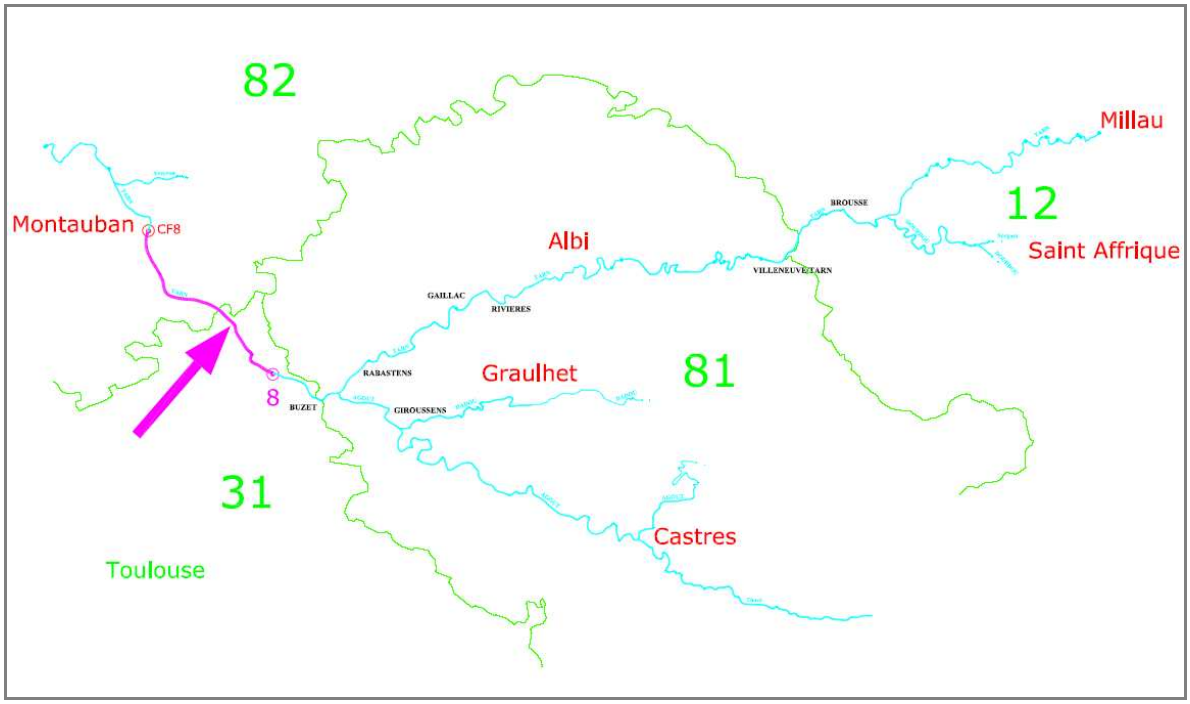
Compte tenu des remarques formulées ci-dessus, le calage a permis de reproduire par la simulation les résultats de campagnes de traçage et d'étendre ensuite de manière fiable la base de données pour augmenter la précision de l'abaque présenté au Chapitre VII.

Le bilan total des opérations de calage a porté sur 38 simulations. Les difficultés de calage ont été rencontrées sur 9 cas correspondant aux mesures et 4 cas sur scénarios complémentaires. Les 25 autres simulations traitées ont conduits à des résultats calés de façon satisfaisante avec les mesures. Quatre simulations complémentaires (hors cas de campagnes) ont produit des résultats corrects.

VII RESULTATS

VII.1 TRONÇON 8 : MIREPOIX – MONTAUBAN

VII.1.1 PRESENTATION DU TRONCON



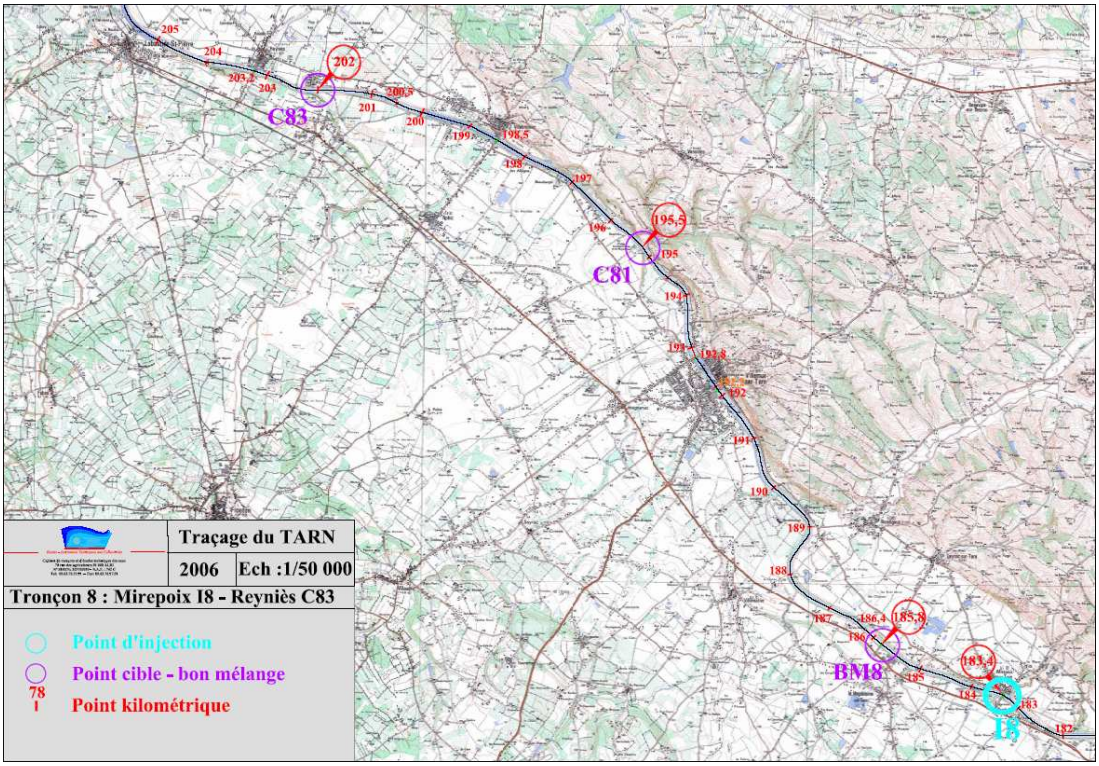


Figure 5 : Tronçon 8(en vert le point d'injection, en mauve les points de mesure et en rouge le kilométrage

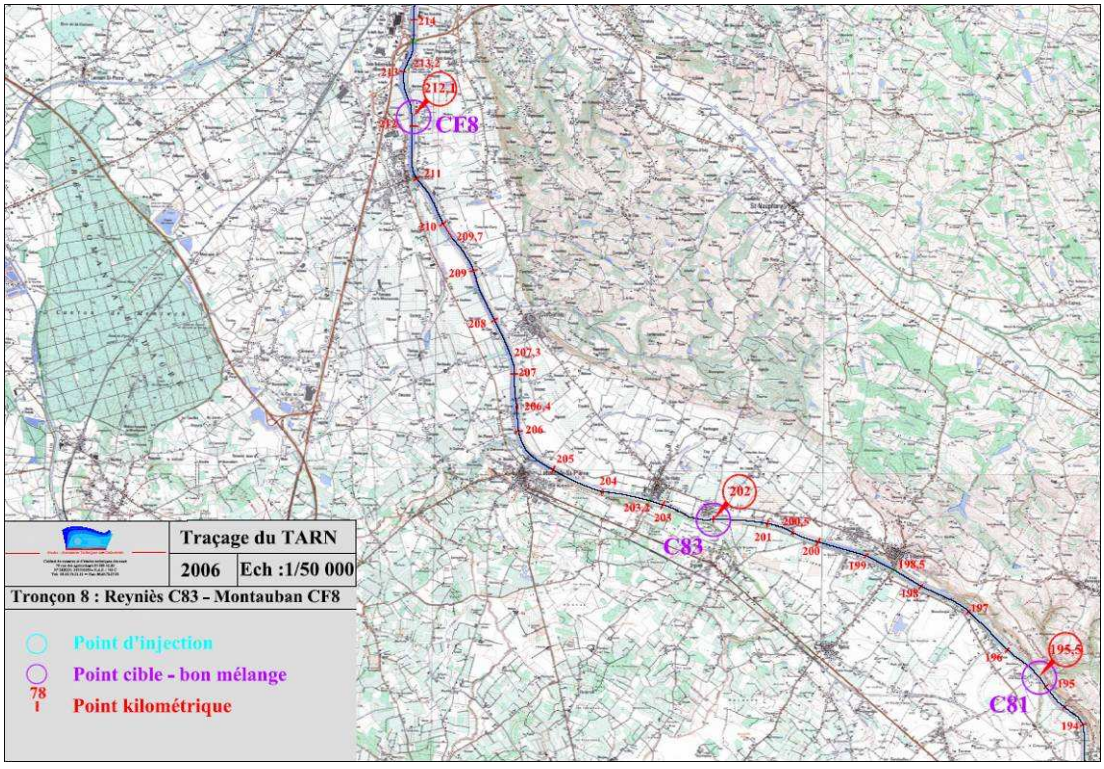


Figure 6 : Tronçon 8 suite (en vert le point d'injection, en mauve les points de mesure et en rouge le kilométrage

Position du tronçon	Mirepoix – Montauban, PK 185,8 - PK 212,1
Rivière	Tarn
Longueur	25 km

Points cibles		SIE Région Villemur C81 SME Vallée du Tarn et Tescou C83 Ville de Montauban (Station de Planques) + prise d'eau de l'industriel Lactel CF8		
Particularités				
Station de débit		Villemur sur Tarn		
Campagne		**Basses eaux**	**Moyennes Eaux**	**Hautes Eaux**
Période		Août 2004	Février 2005	Novembre 2005
Injection		Centre	Centre	Centre
Polluant		Rb	Rb	Rb
Masse (kg)		60	60	60
Débit rivière (m^3/s)		30 à 35	130	230
Point 1	**Temps**	2h00	1h20	0h30
	Durée de passage	3h00	2h10	1h20
Point 2	**Temps**	10h00	7h00	2h20
	Durée de passage	20h30	5h30	6h40
Point 3	**Temps**	20h00	11h30	6h00
	Durée de passage	22h00	5h00	5h40
Point 4	**Temps**	40h00	18h00	9h00
	Durée de passage	37h00	6h00	10h00
Simulations complémentaires		Pollutogrammes tous les kilomètres ;		
Difficultés				

VII.1.2 RESULTATS NUMERIQUES ET CALAGES

Les données géométriques du tronçon 8 sont issues des données proposées pour l'ensemble Mirepoix – Montauban. Elles sont résumées dans le tableau ci-dessous. Les profils en travers utilisés sont présentés à la figure suivante.

Table 5 : Données d'entrée pour le tronçon 8 Mirepoix – Montauban

Longueur du linéaire	25 km
Coefficient de Manning	BE : 0,20 ME : 0,12 HE : 0,09
Coefficient de dispersion (h*D)	BE : 2 ME : 14,285 HE : 10

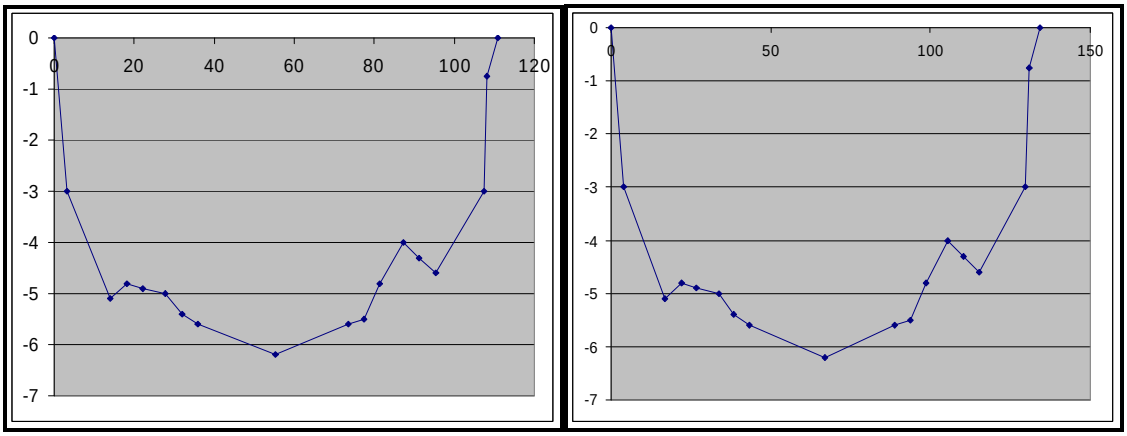


Figure 7 : Profil en travers à Mirepoix (à gauche)- Layrac (à droite)

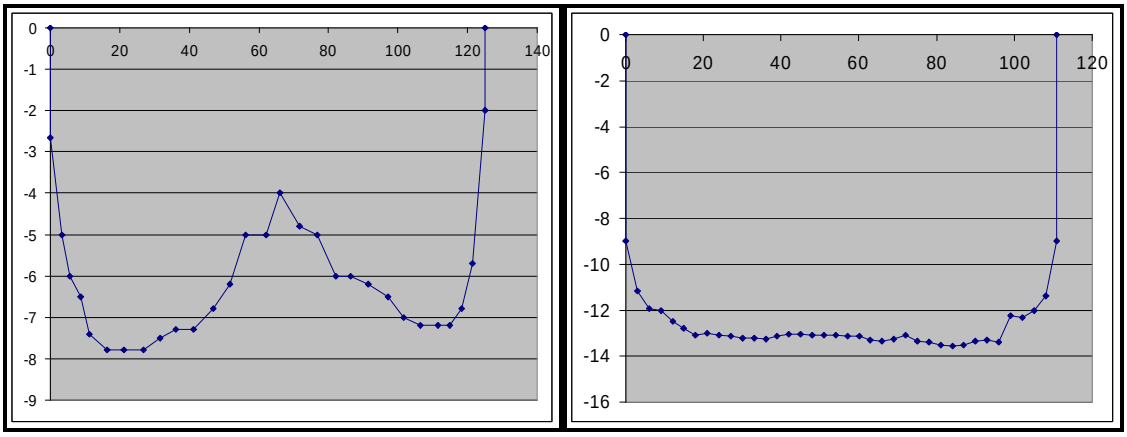


Figure 8 : Profil en travers à Villemur (à gauche)- au Pont de Reynies (à droite)

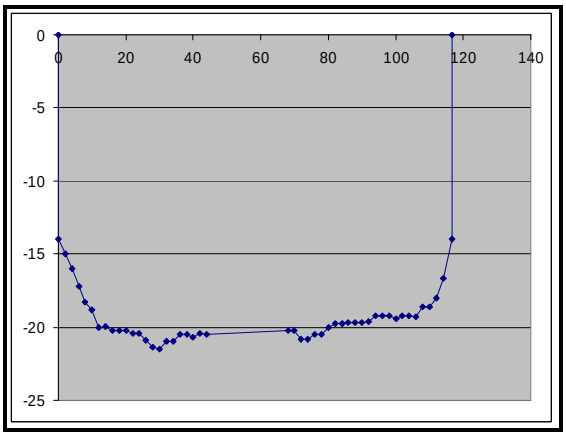


Figure 9 : Profil en travers au Pont Neuf (Montauban)

Le maillage généré sur cette géométrie est un maillage structuré hexaédrique. Les champs de vitesse établis pour les trois débits ont été établis et représentés ci-dessous. Les évolutions temporelles le long du linéaire et pour différents sous-secteurs suivent et les pollutogrammes pour les points de traçage servent aux comparaisons et calage.

VII.1.2.1 Condition de Basses Eaux.

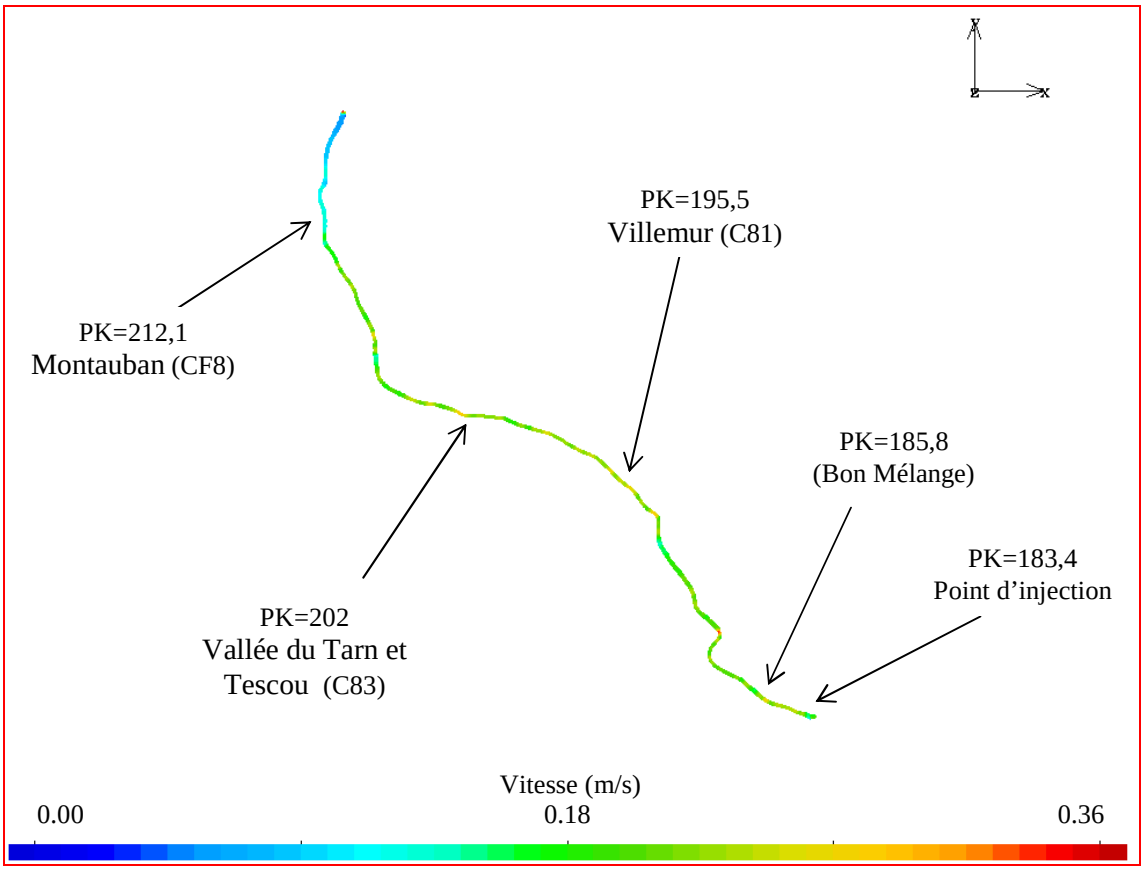


Figure 10 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8

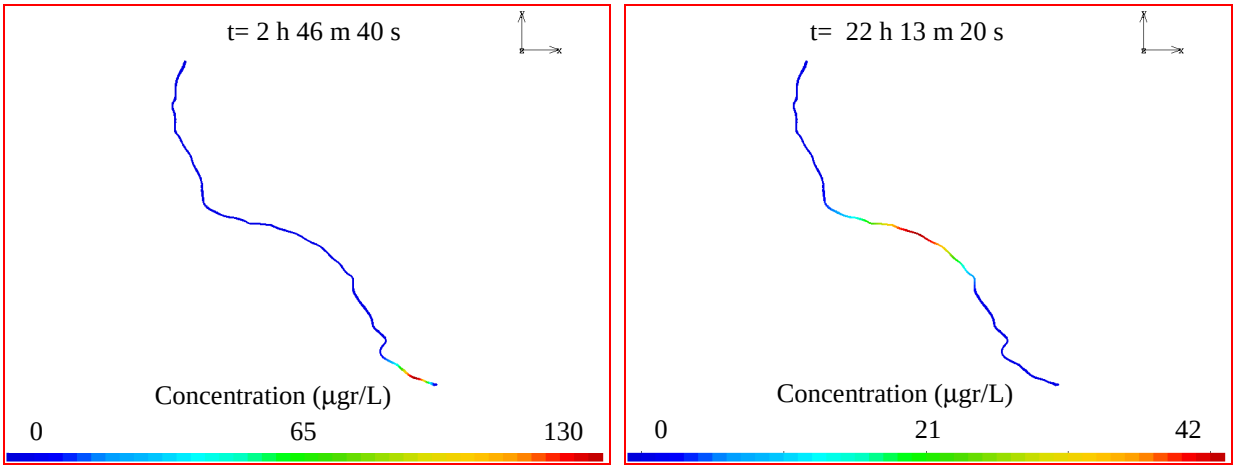


Figure 11 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8

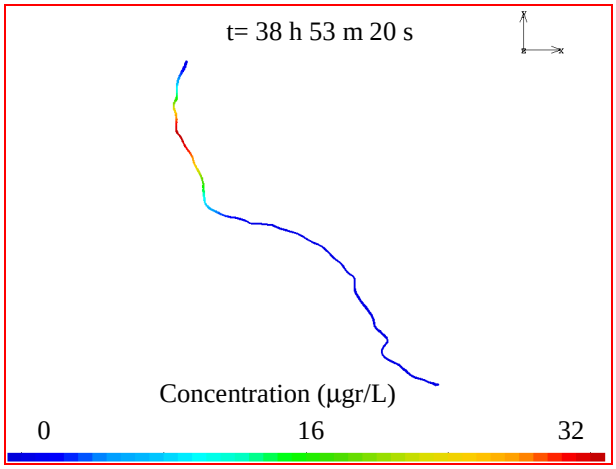


Figure 12 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8 suite

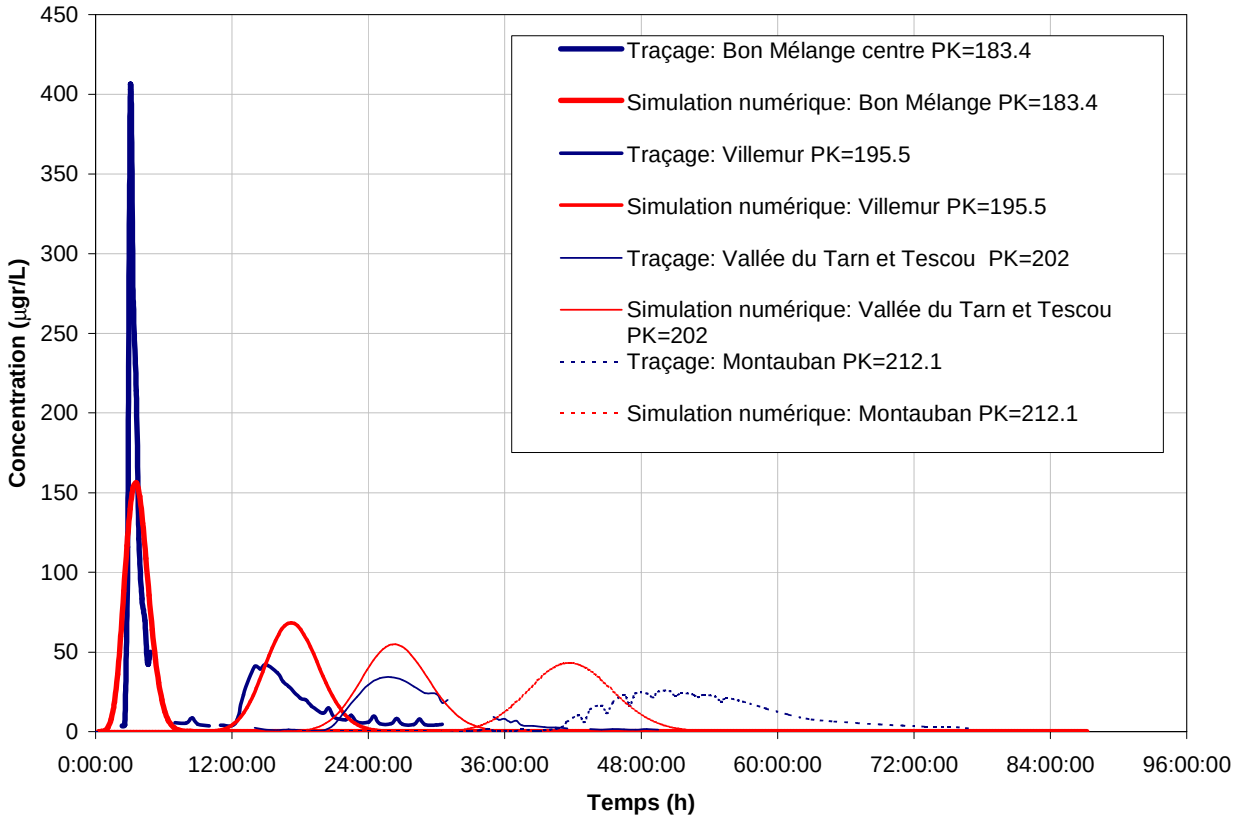


Figure 13 : Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Bases Eaux du tronçon 8

Les résultats du calage pour le cas de bases eaux sont présentés à la Figure 1314. Les pollutogrammes expérimentaux sont en bleue et les pollutogrammes numériques sont présentés en rouge. Pour le point de bon mélange on observe un décalage du temps d'arrivé de la nappe polluante et une forte sous estimation de la concentration. Les différences sont dues à la proximité du point de Bon Mélange et aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques. Pour les points de comparaison à Villemur (PK=195,5) et Vallée du Tarn et Tescou (PK=202) on constate une surestimation de la concentration approximativement 60% avec un temps d'arrivé correcte. Enfin, pour le point de comparaison à Montauban (PK=212,1) on observe un décalage important du pollutogramme numérique par rapport à celui issue du traçage. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques.

VII.1.2.2 Condition de Moyennes Eaux.

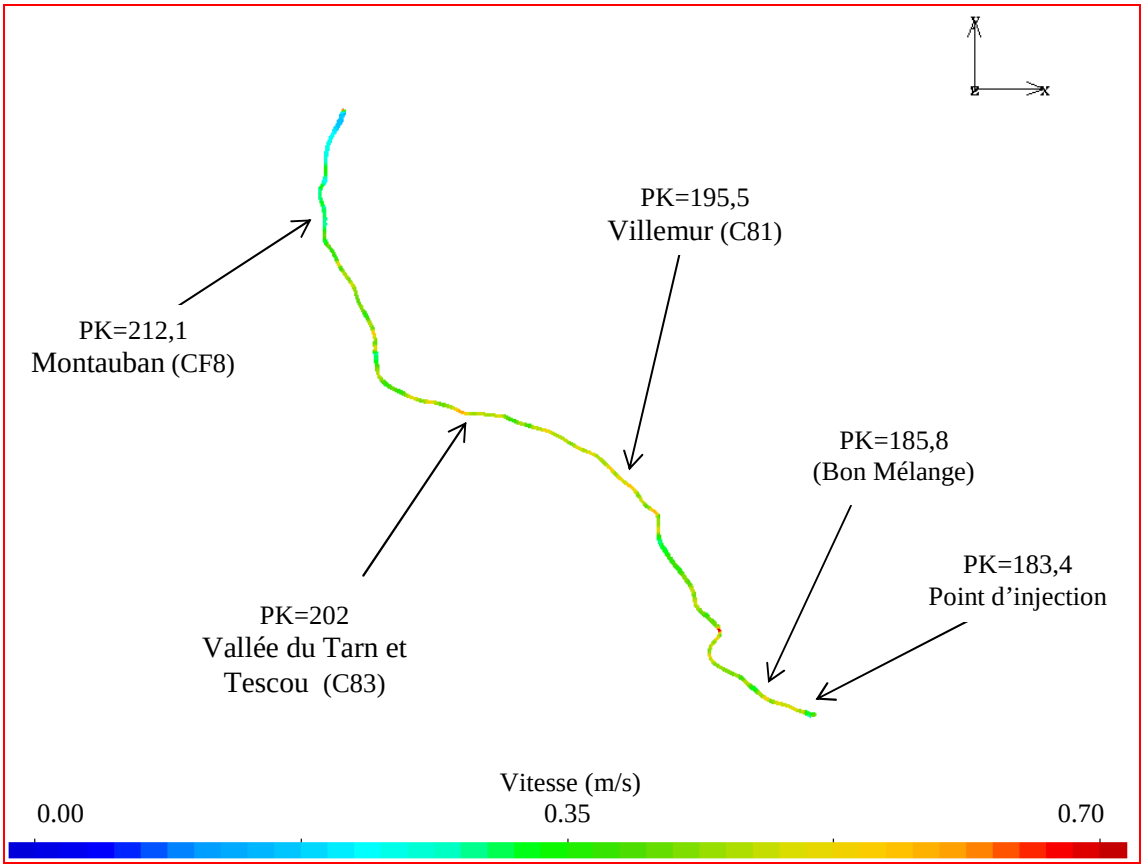


Figure 14 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8

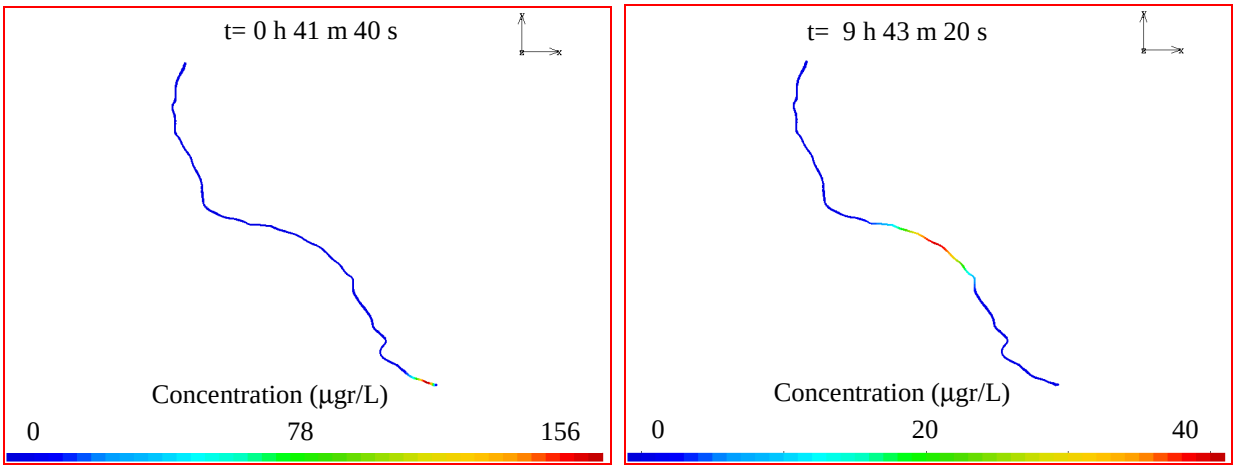


Figure 15 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8

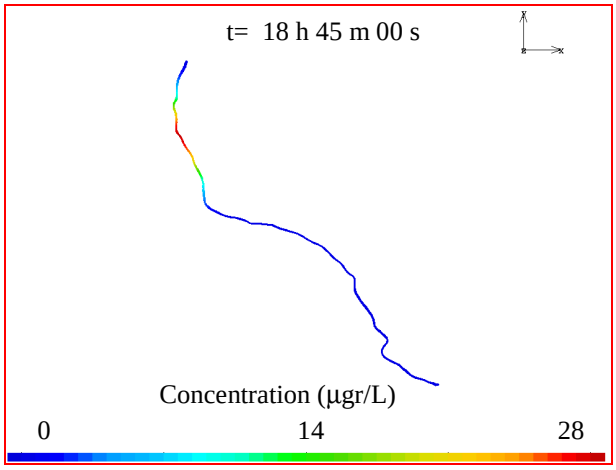


Figure 16 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8 suite

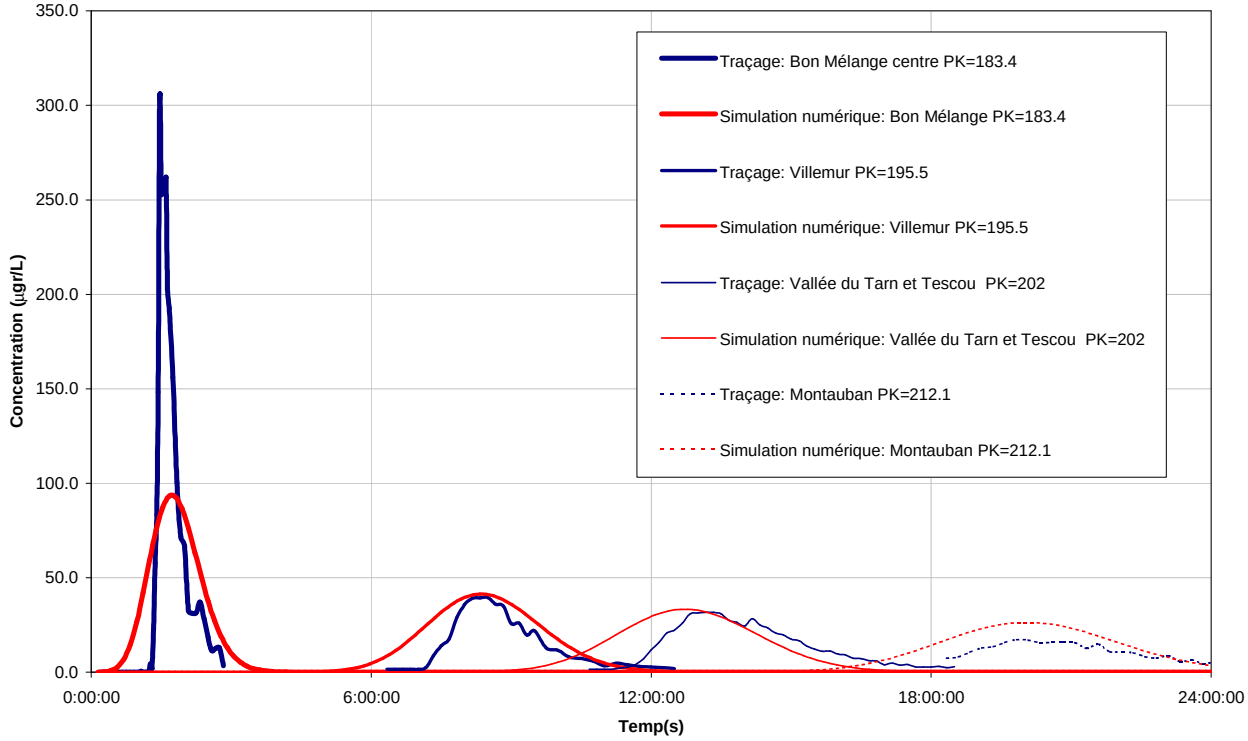


Figure 17: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Moyennes Eaux du tronçon 8

Les résultats du calage pour le cas de moyennes eaux sont présentés à la Figure 1718. Les pollutogrammes expérimentaux sont en bleue et les pollutogrammes numériques sont présentés en rouge. Pour le point de bon mélange on observe un décalage du temps d'arrivé de la nappe polluante et une forte sous estimation de la concentration. Les différences sont dues à la proximité du point de Bon Mélange et aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques. Pour les points de comparaison à Villemur (PK=195,5), Vallée du Tarn - Tescou (PK=202) et Montauban (Station de Planques) (PK=212,1) on constate une bonne allure des pollutogrammes avec un temps d'arrivé légèrement en avance par rapport aux pollutogrammes du traçage. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle

numérique par le manque des données topo-bathymétriques.

VII.1.2.3 Condition de Hautes Eaux.

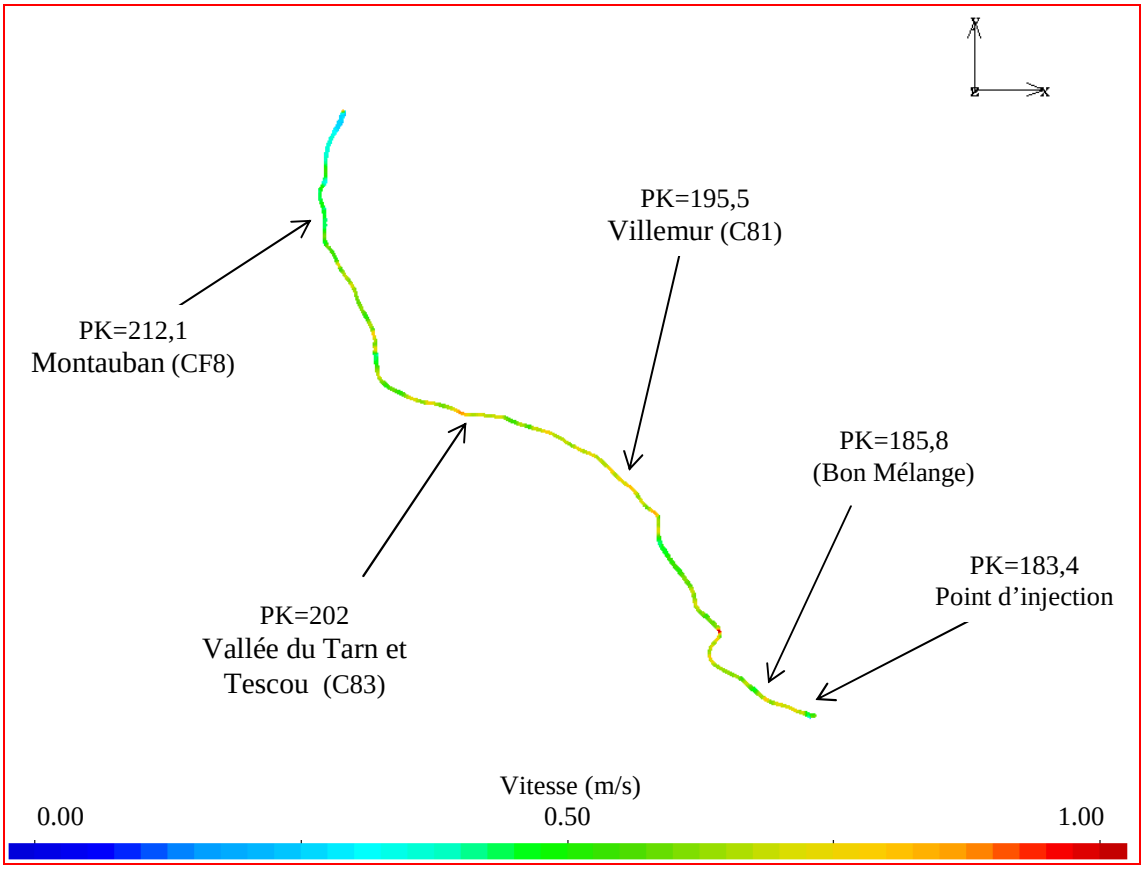


Figure 18 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8

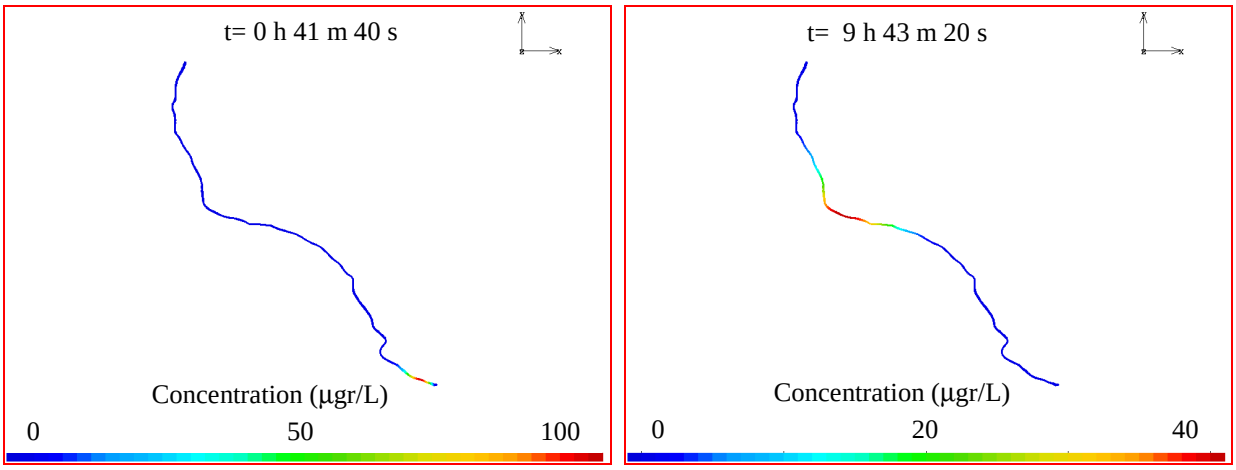


Figure 19 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8

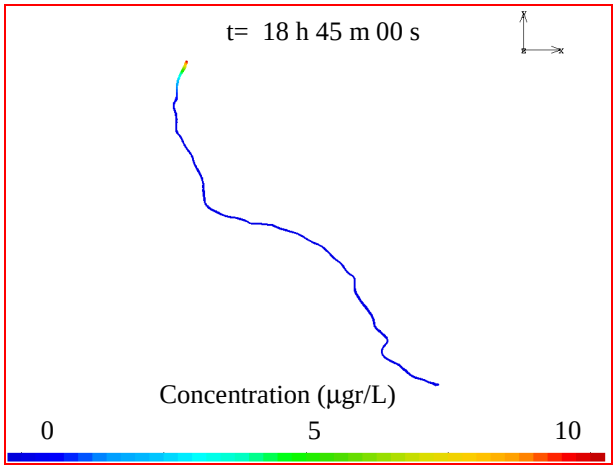


Figure 20 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8 suite

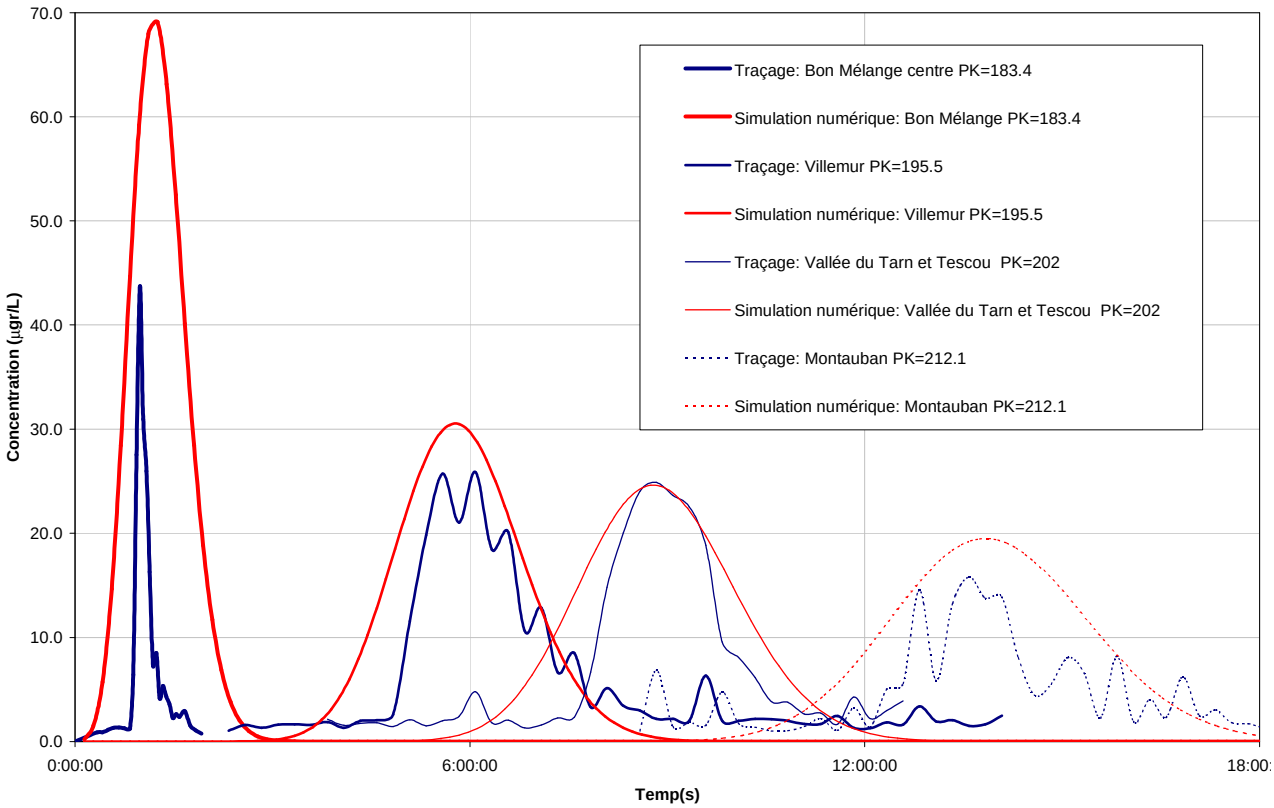


Figure 21: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Hautes Eaux du tronçon 8

Les résultats du calage pour le cas de hautes eaux sont présentés à la Figure 2122. Les pollutogrammes expérimentaux sont en bleue et les pollutogrammes numériques sont présentés en rouge. Pour le point de bon mélange on observe un décalage du temps d'arrivé de la nappe polluante et une surestimation de la concentration du 58%. Les différences sont dues à la proximité du point de Bon Mélange et aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques. Pour les points de comparaison à Villemur (PK=195,5), Vallée du Tarn - Tescou (PK=202) et Montauban (station de Planques) (PK=212,1) on constate une bonne allure des pollutogrammes avec un temps d'arrivé légèrement en avance par rapport aux

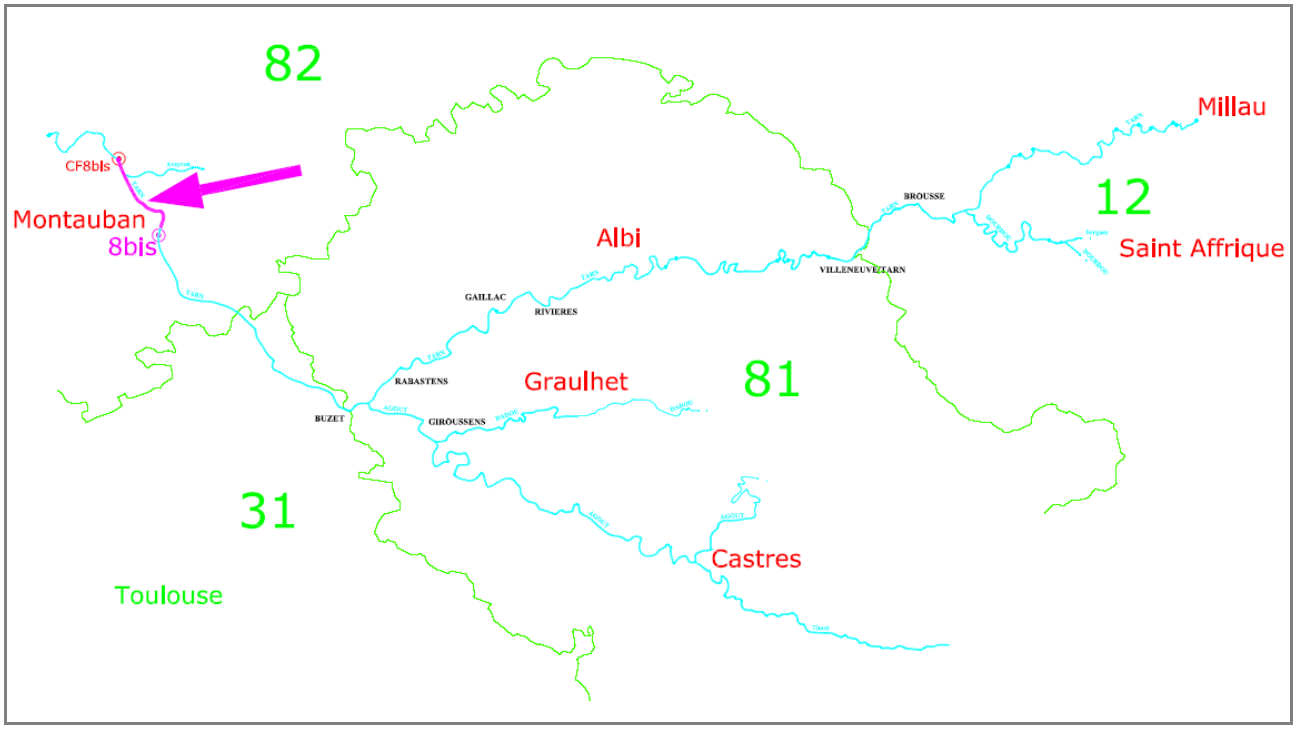
pollutogrammes du traçage. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques.

D'autre part, d'autres pollutogrammes ont été évalués le long du linéaire de ce tronçon à chaque kilomètre à partir du point d'injection sur les rives gauche, droit et au centre du cours d'eau.

VII.2 TRONÇON 8BIS

VII.2.1 PRESENTATION DU TRONCON

Le tronçon 8bis est le tronçon partant de Montauban et se terminant au niveau du SIE Bas Quercy (point cible du tronçon) après la confluence du Tarn et de l'Aveyron.
Sa longueur est de 12,5 km. Outre le point cible du Bas Quercy, deux autres pollutogrammes ont été établis : un au niveau du bon mélange (PK 219) et un au niveau de la confluence avec l'Aveyron (PK 227,6).



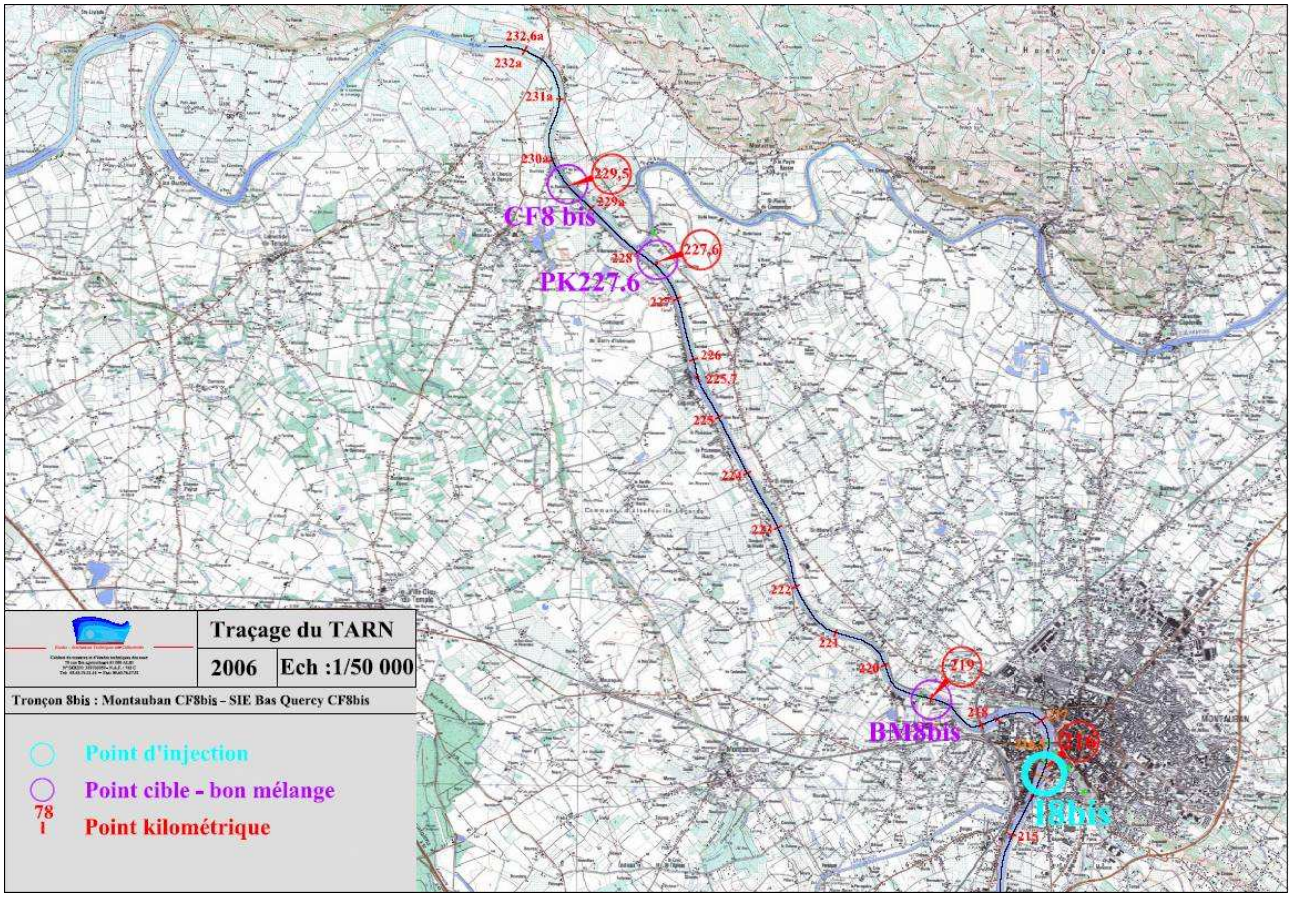


Figure 22: Tronçon 8bis (en vert le point d'injection, en mauve les points de mesure et en rouge le kilométrage)

Position du tronçon		Montauban - S.I.E. Bas Quercy, PK 216 - PK 229.5		
Rivière		Tarn et Aveyron		
Longueur		12,5 km		
Points cibles		SIE Bas Quercy CF8 bis Confluence Tarn / Aveyron PK 227,6		
Particularités		La confluence entre le Tarn et l'Aveyron		
Station de débit		Villemur sur Tarn / Piquecos		
Campagne		**Basses eaux**	**Moyennes Eaux**	**Hautes Eaux**
Période		Août 2004	Avril 2004	Février 2005
Injection		Droite	Droite	Droite
Polluant		FSN	Rb	FSN
Masse (kg)		100	60	80
Débit rivière (m^3/s)		25 à 30	55 à 65	200
Point 1	**Temps**	7h00	2h15	1h10
	Durée de passage	7h00	2h55	1h40
Point 2	**Temps**	23h00	9h30	3h40
	Durée de passage	25h00	10h30	5h50
Simulations complémentaires		Pollutogrammes tous les kilomètres ; Un débit complémentaire : 120 m^3/s		

VII.2.2 RESULTATS NUMERIQUES ET CALAGES

Les données géométriques du tronçon 8bis sont issues des données proposées pour l'ensemble Montauban - S.I.E. Bas Quercy. Elles sont résumées dans le tableau ci-dessous. Les profils en travers utilisés sont présentés à la figure suivante.

Table 6 : Données d'entrée pour le tronçon 8bis Montauban - S.I.E. Bas Quercy

Longueur du linéaire	12,5 km
Coefficient de Manning	BE : 0,5 ME : 0,08 HE : 0,1028
Coefficient de dispersion (h*D)	BE : 0,333 ME : 40 HE : 0,2857

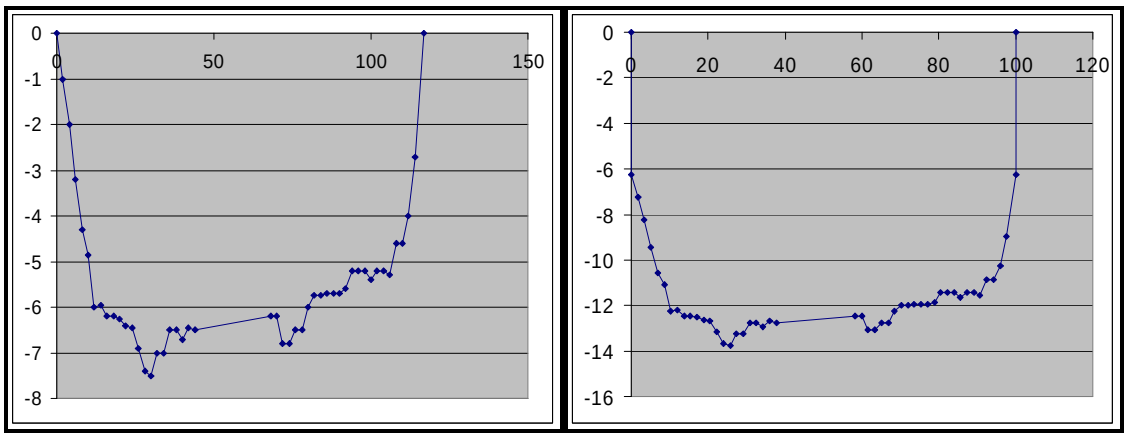


Figure 23: Profil en travers au Pont Neuf de Montauban (à gauche) – Bas Quercy (à droite)

Le maillage généré sur cette géométrie est un maillage structuré hexaédrique. Les champs de vitesse établis pour les trois débits ont été établis et représentés ci-dessous. Les évolutions temporelles le long du linéaire et pour différents sous-secteurs suivent et les pollutogrammes pour les points de traçage servent aux comparaisons et calage.

VII.2.2.1 Condition de Basses Eaux.

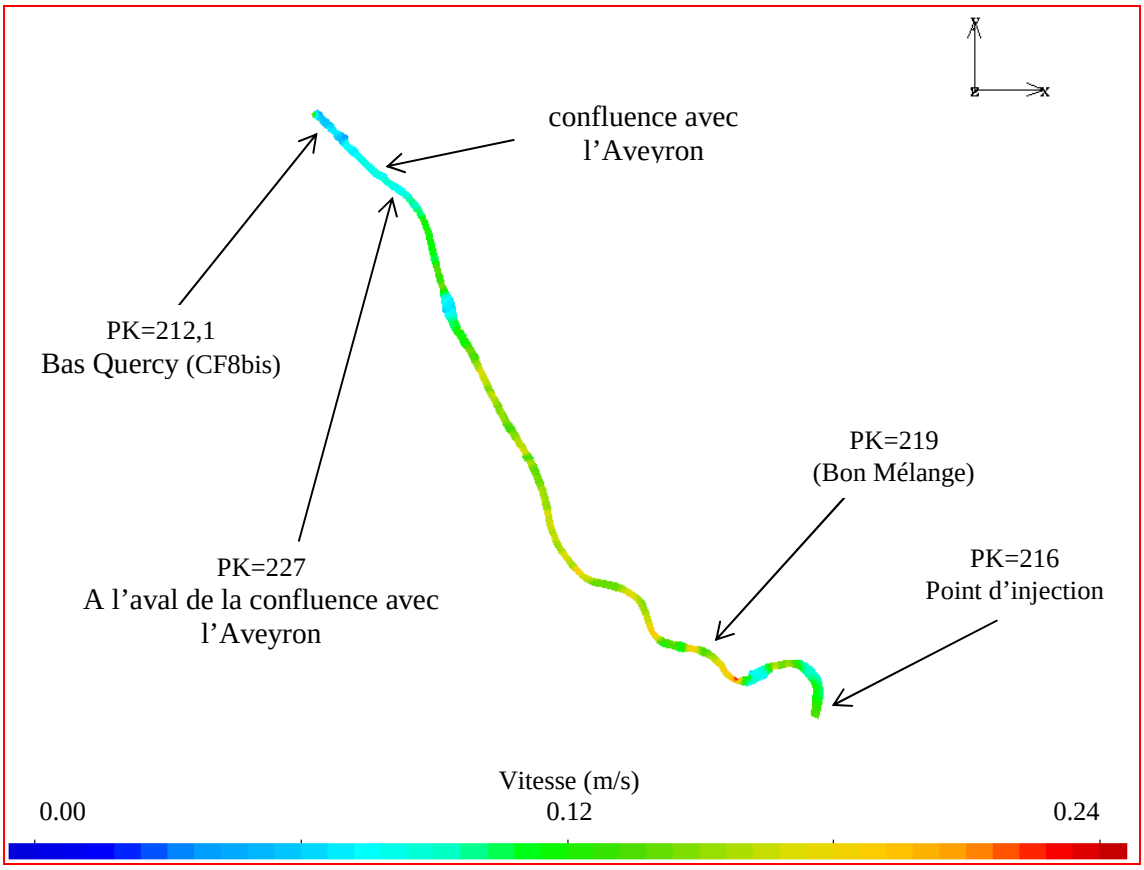


Figure 24 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8bis

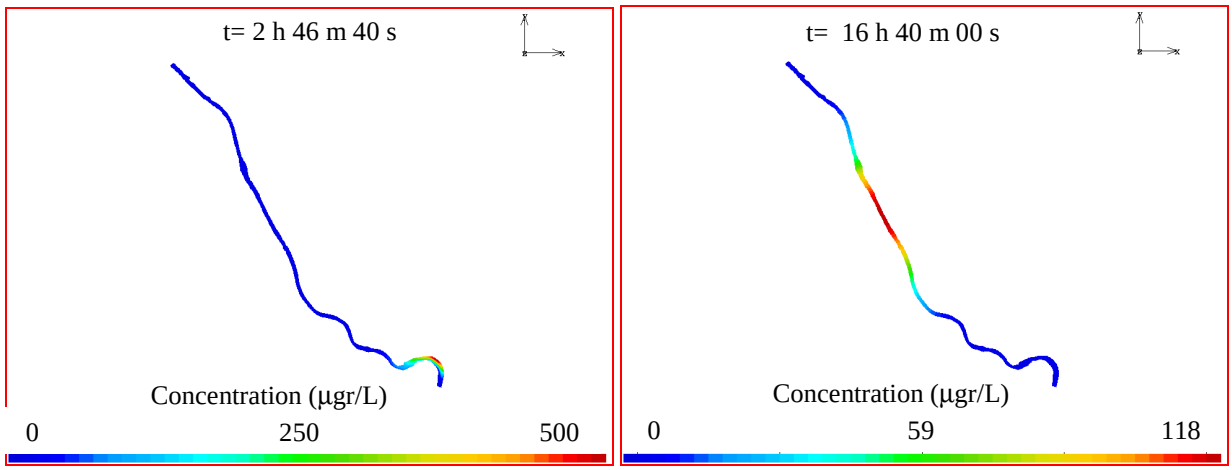


Figure 25 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8bis

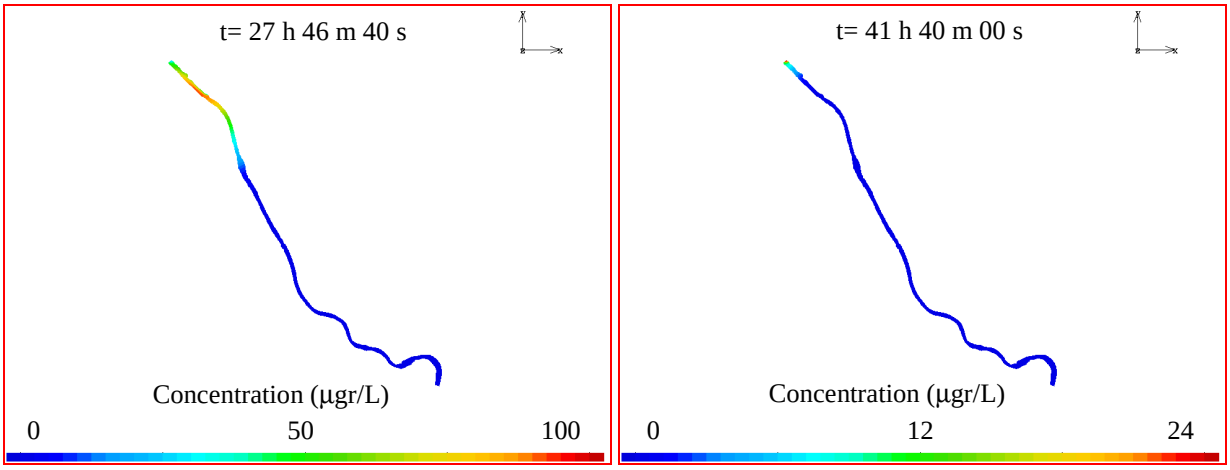


Figure 26 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Bases Eaux le long du tronçon 8bis suite

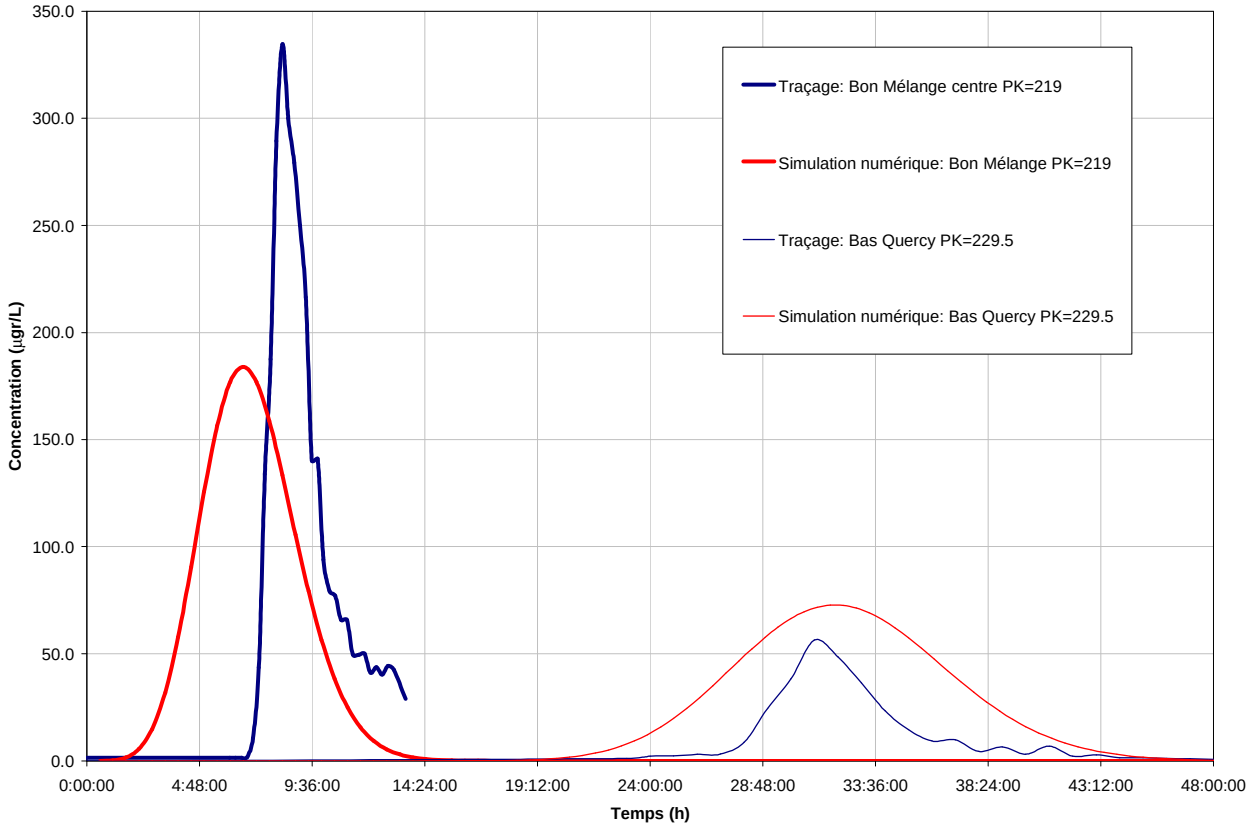


Figure 27 : Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Bases Eaux du tronçon 8bis

Les résultats du calage pour le cas de bases eaux sont présentés à la Figure 2728. Les pollutogrammes expérimentaux sont en bleue et les pollutogrammes numériques sont présentés en rouge. Pour le point de bon mélange on observe un décalage du temps d'arrivé de la nappe polluante et une forte sous estimation de la concentration. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques. Pour le point de comparaison à Bas Quercy (PK=229,5) on constate une surestimation de la concentration approximativement 25% avec un temps d'arrivé en avance par rapport à celui issue du traçage. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques.

VII.2.2.2 Condition de Moyennes Eaux.

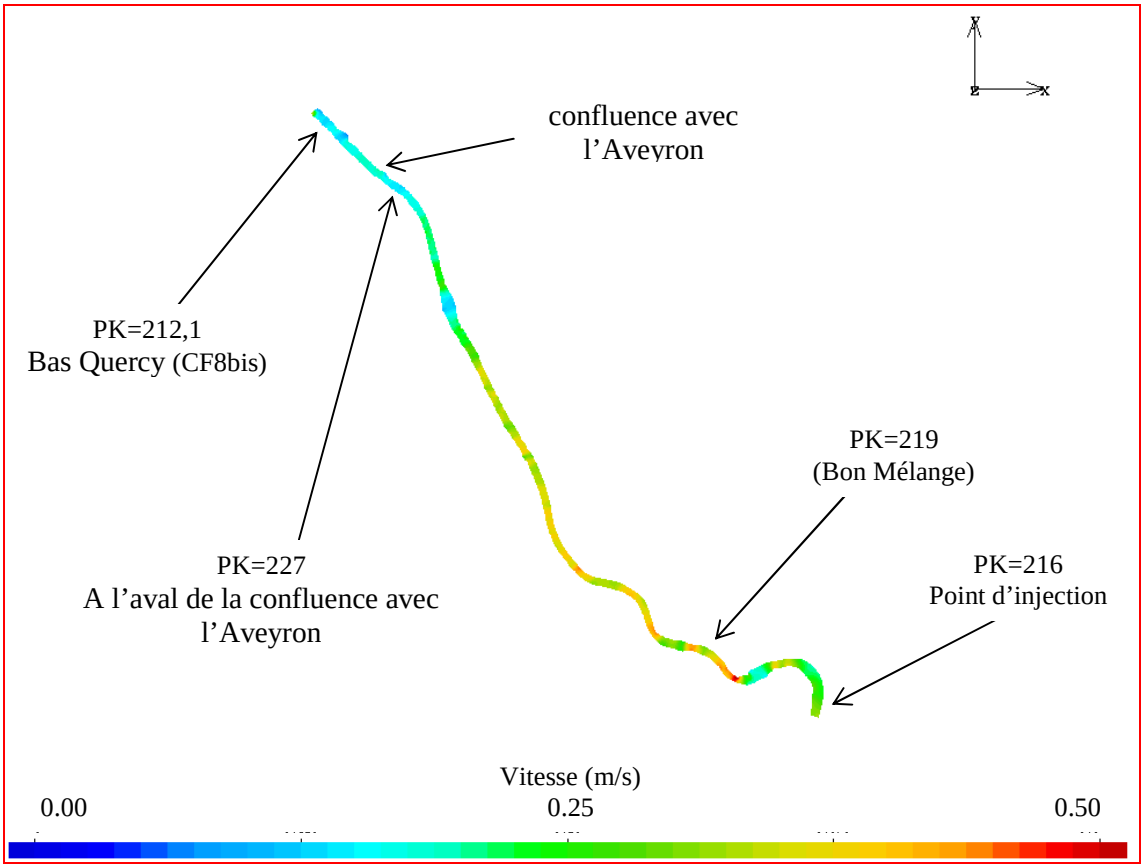


Figure 28 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8bis

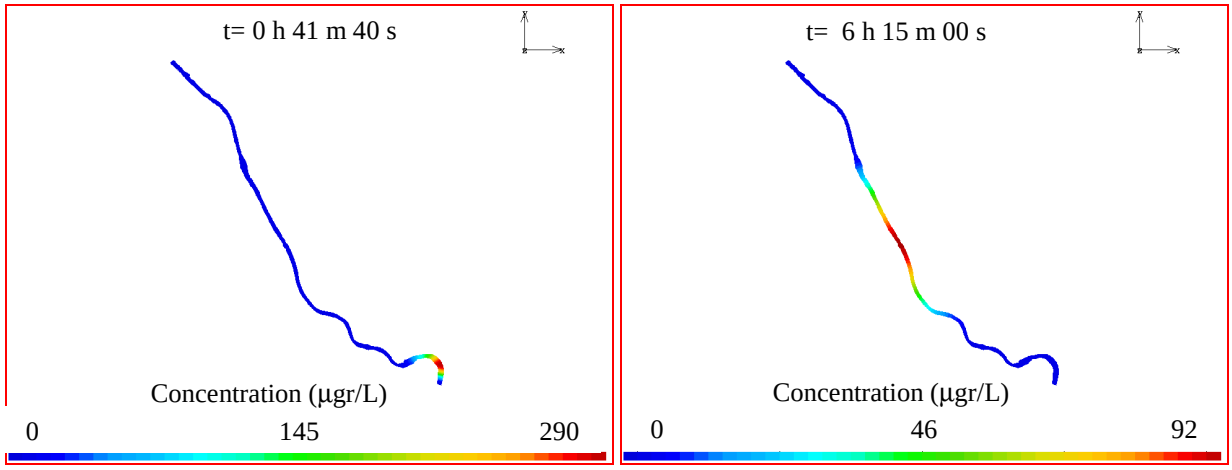


Figure 29 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8bis

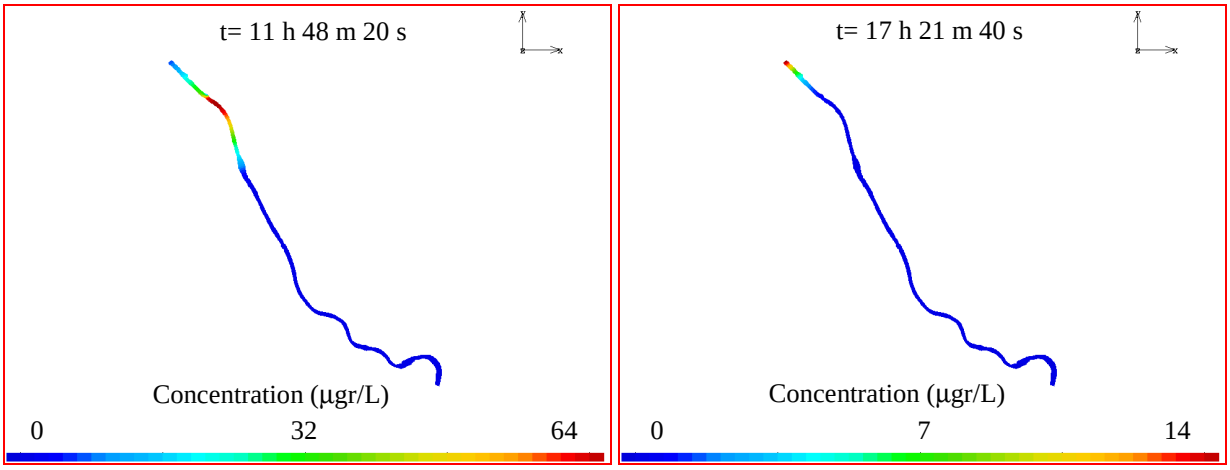


Figure 30 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Moyennes Eaux le long du tronçon 8bis suite

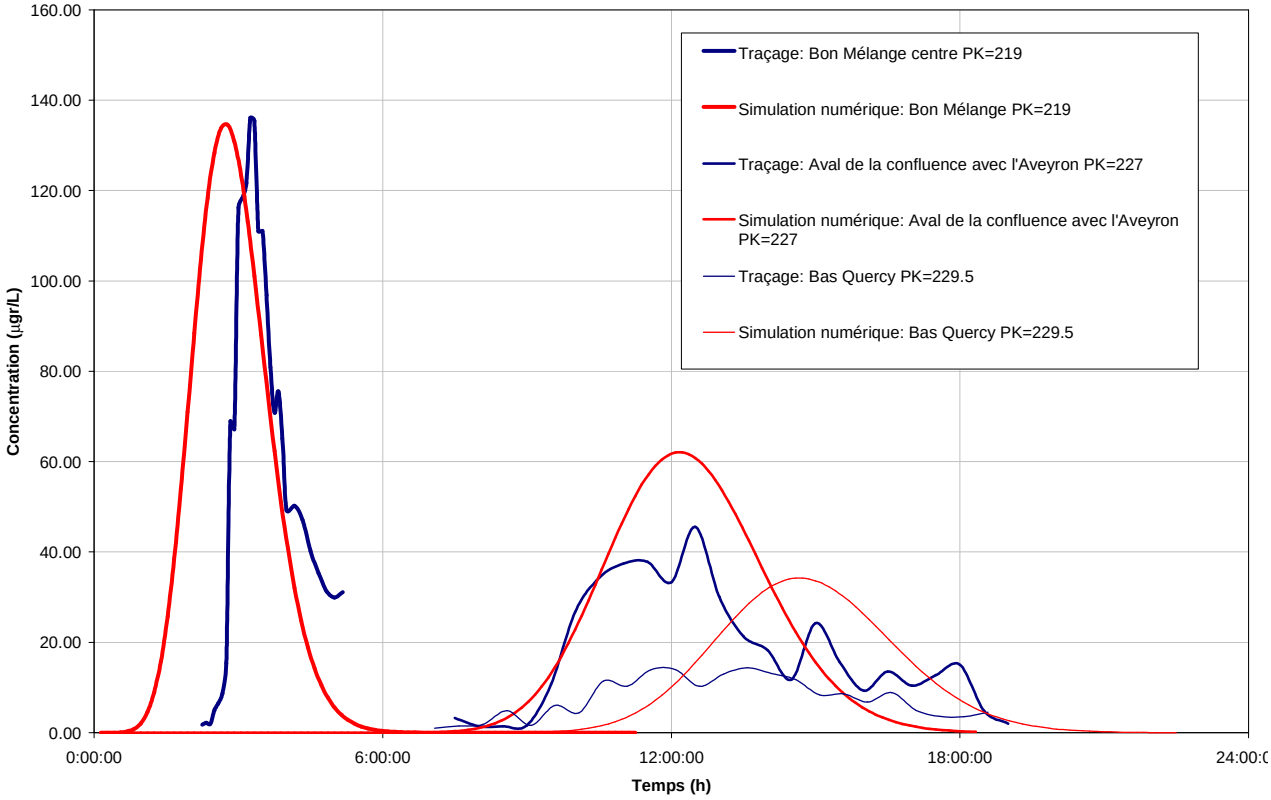


Figure 31: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Moyennes Eaux du tronçon 8bis

Les résultats du calage pour le cas de moyennes eaux sont présentés à la Figure 3132. Les pollutogrammes expérimentaux sont en bleue et les pollutogrammes numériques sont présentés en rouge. Pour le point de bon mélange on observe un décalage du temps d'arrivé de la nappe polluante et une estimation correcte de la concentration. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques. Pour le point de comparaison à l'aval de la confluence avec l'Agout (PK=227), on constate une bonne allure du pollutogramme avec un temps d'arrivé correcte par rapport au pollutogramme du traçage. Enfin, pour le point de comparaison à Bas quercy (PK=229,5) on observe une surestimation

de la concentration du 110% et un temps d'arrive retardé par rapport au pollutogramme du traçage. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques et la difficulté de modéliser la confluence avec l'Agout.

VII.2.2.3 Condition de Hautes Eaux.

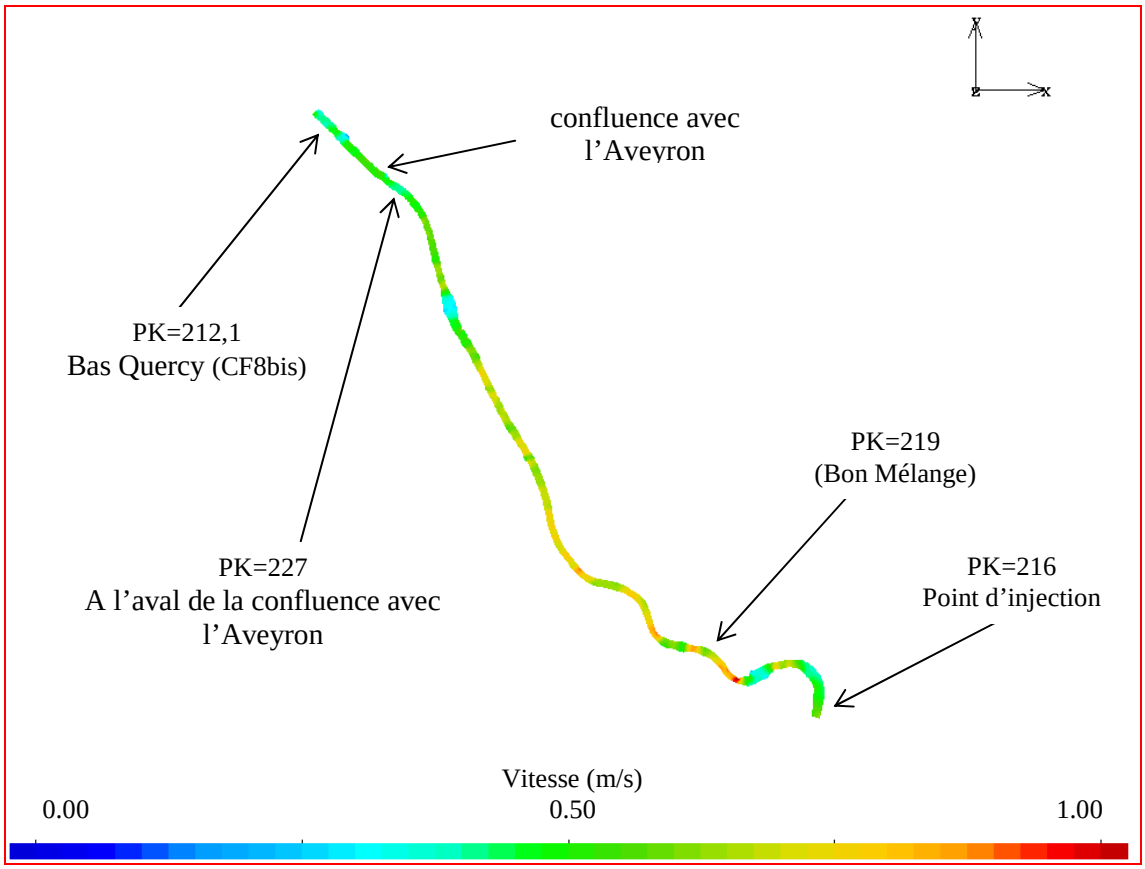


Figure 32 : Profil de vitesse (m/s) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8bis

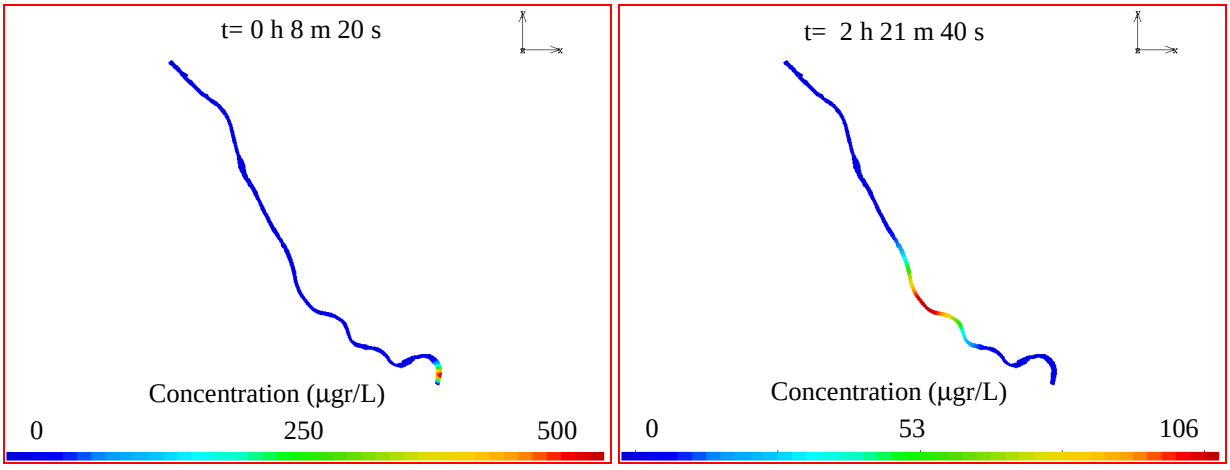


Figure 33 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8bis

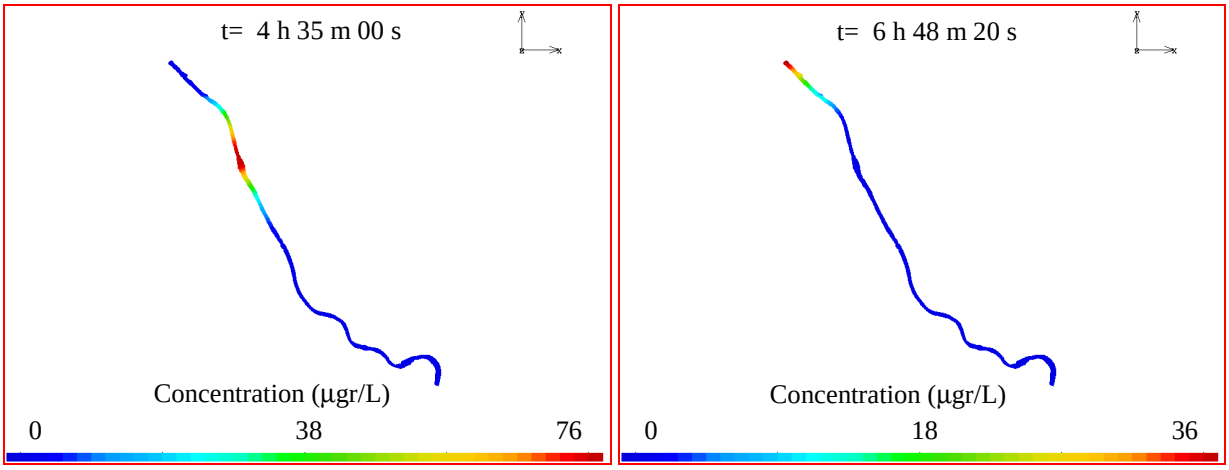


Figure 34 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition de Hautes Eaux le long du tronçon 8bis suite

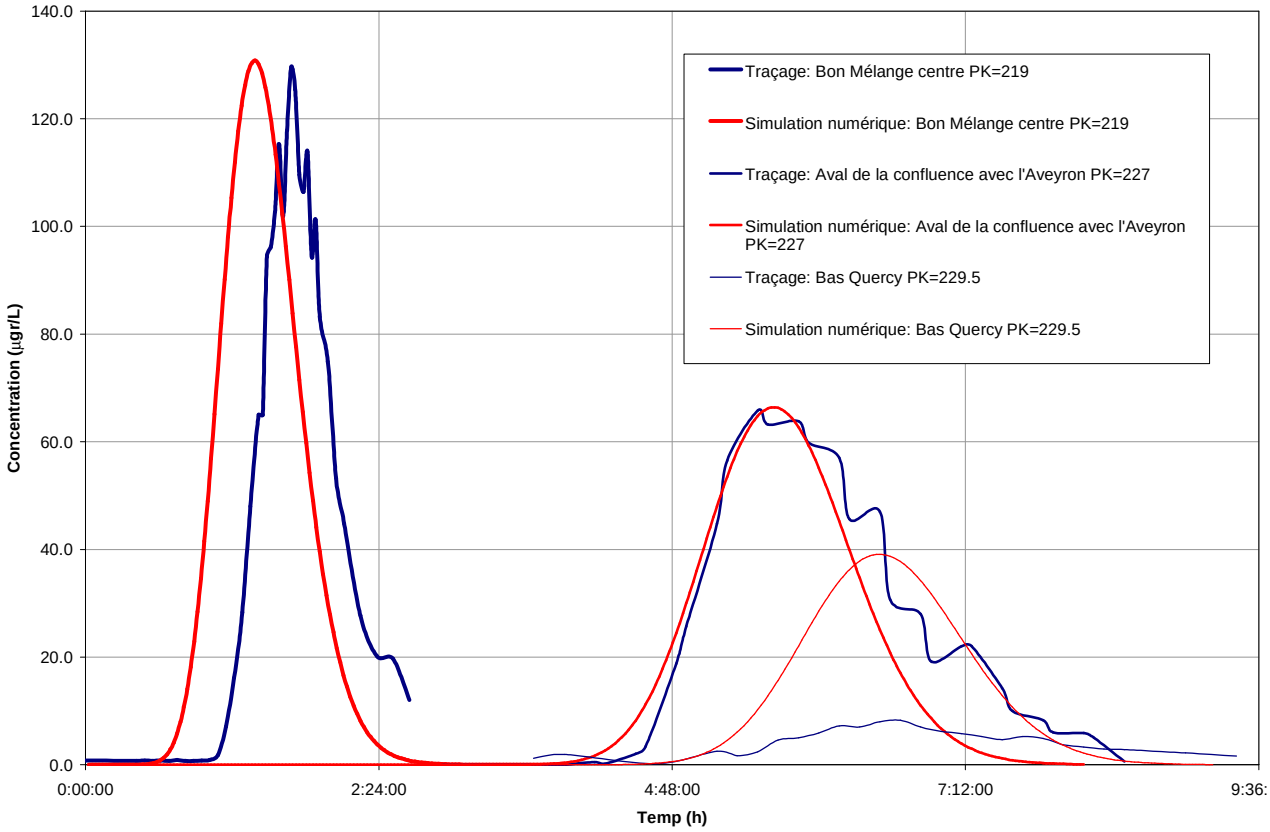


Figure 35: Calage de la simulation numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux pour la condition de Hautes Eaux du tronçon 8bis

Les résultats du calage pour le cas de moyennes eaux sont présentés à la Figure 35. Les pollutogrammes expérimentaux sont en bleue et les pollutogrammes numériques sont présentés en rouge. Pour le point de bon mélange on observe un décalage du temps d'arrivé de la nappe polluante et une estimation correcte de la concentration. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques. Pour le point de comparaison à l'aval de la confluence avec l'Agout (PK=227), on constate une bonne allure du pollutogramme avec un temps d'arrivé correcte par rapport au pollutogramme du traçage. Enfin, pour le point de comparaison à Bas quercy (PK=229,5) on observe une surestimation

importante de la concentration et un temps d'arrive correcte par rapport au pollutogramme du traçage. Les différences sont dues aux simplifications faites dans le modèle numérique par le manque des données topo-bathymétriques et la difficulté de modéliser la confluence avec l'Agout.

VII.2.2.4 Condition intermédiaire complémentaire débit: Q=120 m^3/s.

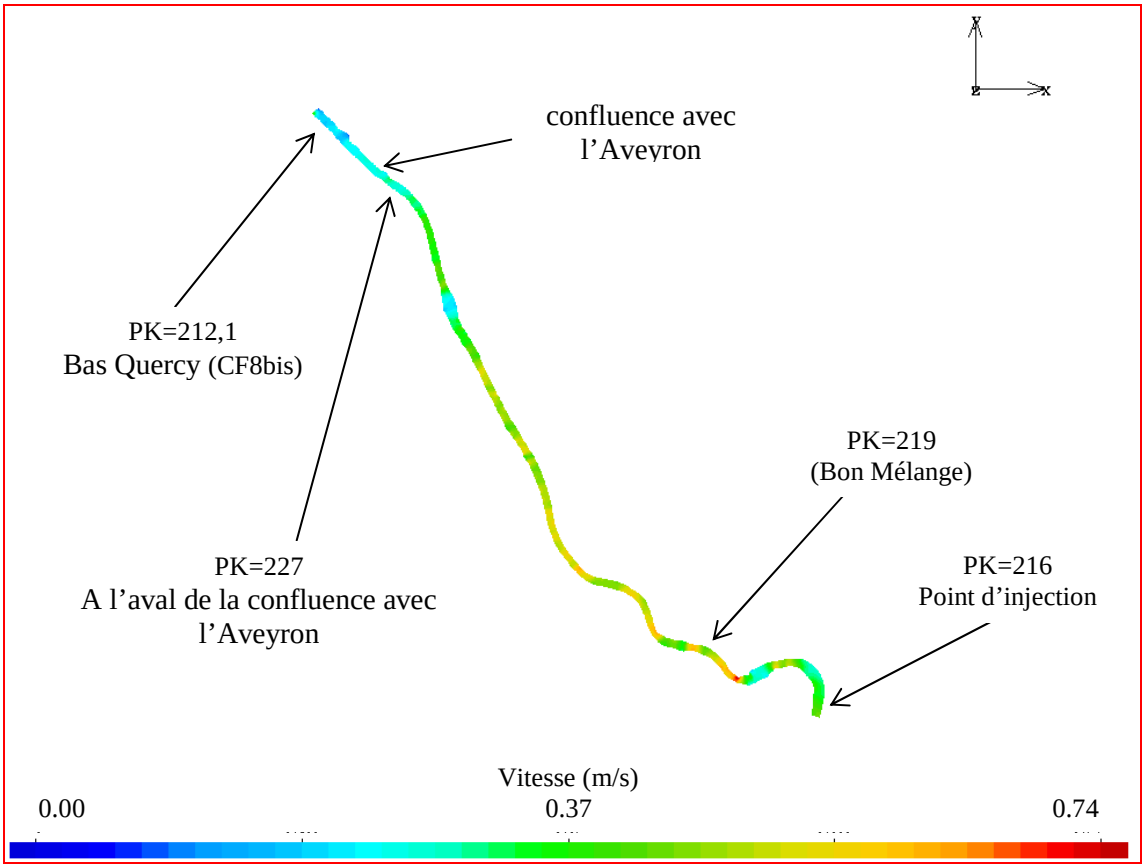


Figure 36 : Profil de vitesse (m/s) en condition intermédiaire Q=120 m^3/s le long du tronçon 8bis

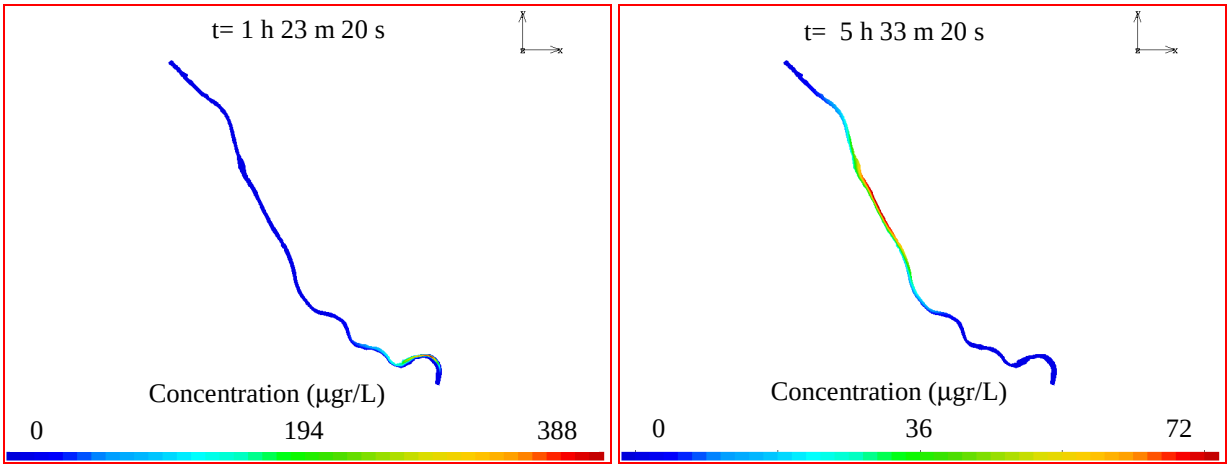


Figure 37 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition intermédiaire Q=120 m^3/s le long du tronçon 8bis

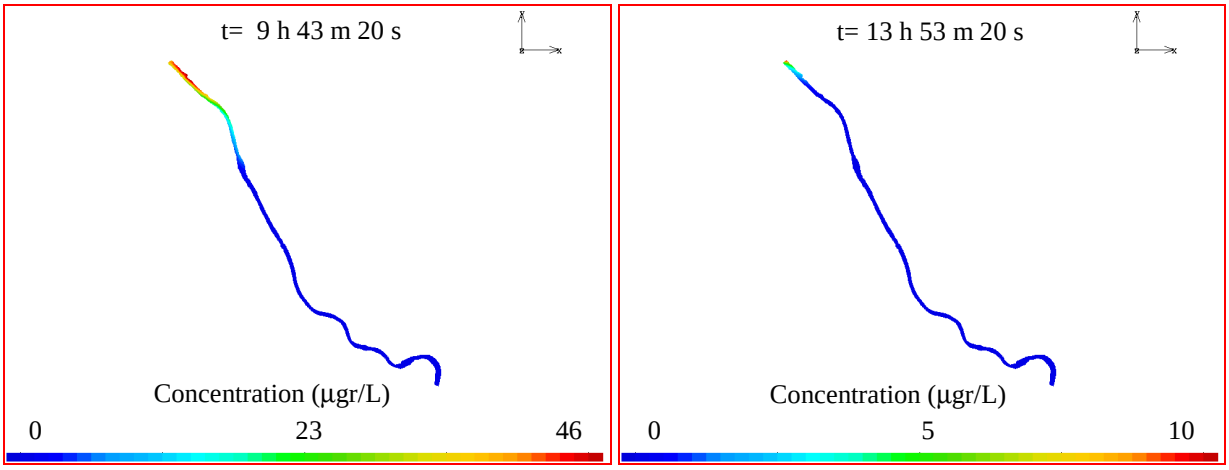


Figure 38 : Transport de la nappe polluante (µgr/L) en condition intermédiaire Q=120 m^3/s le long du tronçon 8bis suite

D'autre part, d'autres pollutogrammes ont été évalués le long du linéaire de ce tronçon à chaque kilomètre à partir du point d'injection sur les rives gauche, droit et au centre du cours d'eau. Des résultats des simulations à chaque kilomètre pour un débit complémentaire de Q=120 m^3/s ont été ajoutés à la base des données.

VIII CONCLUSION

L'étude de la propagation d'une nappe polluante sur le Tarn et ses affluents a été achevée par la construction d'un outil de calcul des pollutogrammes adapté aux demandes des utilisateurs. Cet outil s'appuie à la fois sur les données ponctuelles des campagnes de traçage et sur les simulations menées dans le cadre de l'étude pour les opérations de calage comme pour les cas complémentaires. Bien que cet outil soit désormais opérationnel, il est utile d'insister sur la nécessité d'une bonne connaissance des limites d'utilisation et des incertitudes des résultats actuels.

L'étude a consisté, d'une part, à analyser la propagation de nappes polluantes en condition réelle sur le Tarn et ses affluents à l'aide d'une campagne de traçage par secteurs, et d'autre part, à adapter des modèles numériques qui permettent de simuler des propagations de nappes polluantes avec l'avantage d'un coût nettement inférieur à ceux du traçage réel. Les résultats des deux méthodes (traçage et numériques) ont été enfin ajoutés dans une base des données qui nourrit l'outil de calcul des pollutogrammes dont le fonctionnement est décrit par un cas d'analyse d'accident virtuel mais plausible détaillé dans l'annexe ci jointe.

La conclusion générale sur le plan des opérations de simulations et de calage relève deux problématiques importantes : un manque de mesures de terrain topo-bathymétriques, débits, hauteurs d'eau (a minima sur quelques points le long des linéaires), un manque d'informations détaillées associées aux campagnes du traçage. Ces deux problèmes ont limité l'exploitation numérique des prélèvements issus du traçage et ont provoqué une série des complications et d'incertitudes dans les résultats et calages des simulations numériques. Pour cette raison, il a été pris la décision de ne pas joindre les résultats des simulations numériques pour les tronçons ayant des écarts trop importants avec les traçages : tronçon 1, 2, 2bis.

Des améliorations seraient souhaitables pour :

- assembler dans le futur des informations de terrain topo-bathymétriques de façon complète pour des simulations numériques plus précises,
- assembler des données en et hors campagnes sur les hauteurs d'eau (en plus des débits aux stations)
- (en cas de campagnes complémentaires ou sur d'autres cours d'eau) définir un protocole plus détaillé pour le traitement et l'interprétation des modalités d'injection qui définissent la longueur de nappe et la concentration à l'injection

Plus généralement et pour d'autres projets une planification plus détaillée des campagnes de traçage est souhaitée.

Des données topo-bathymétriques complètes et actualisés permettraient une construction plus fidèle des modèles numériques et une reprise des simplifications (périmètre mouillé, largeur, affleurement de fond….) générant des erreurs et incertitudes importantes. Nombre de ces incertitudes pourraient être levées aussi par l'apport des données des campagnes de traçage (du fait des contraintes de cahier des charges, très peu de points de prélèvement ont été utilisés : 2 ou 3 par tronçon). Plus de points de prélèvement, et en particulier à l'aval et à l'amont des obstacles importants (barrages, confluence des cours d'eau) fourniraient des contraintes plus fortes sur la modélisation et un calage des simulations plus proche de la réalité physique de terrain.
En dépit de ces difficultés d'incertitudes résiduelles, l'étude a néanmoins permis de produire un outil opérationnel abouti de gestion de crise et d'alerte par modélisation sur abaque. Cet outil pourra

être utilisé dans le cadre des services départementaux et dans celui de la cellule de crise pour estimer les temps de transfert et les concentrations en polluants.
L'outil conçu pour être convivial sur l'interface est néanmoins évolutif (ouvert) et sera en mesure d'accueillir de nouvelles données fournies soit par modélisation sur base de bathymétrie plus détaillée, soit à partir de nouvelles campagnes de traçages.

Afin d'illustrer la pertinence de l'outil, un exemple de mise en œuvre dans un cadre accidentel massif virtuel qui affecterait le département Tarn – et – Garonne est fourni ci-dessous.

UTILISATION DE L'ABAQUE :

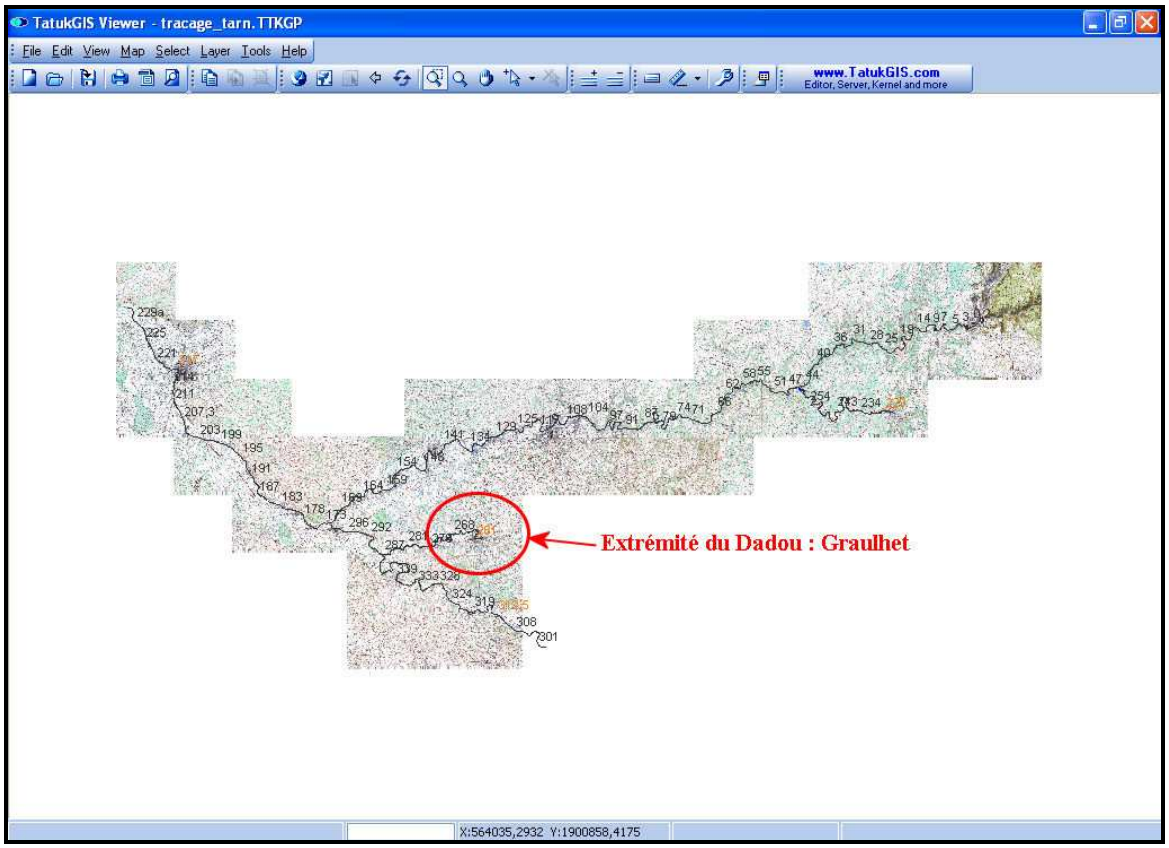
Scénario envisagé : (Analyse préliminaire de l'accident)

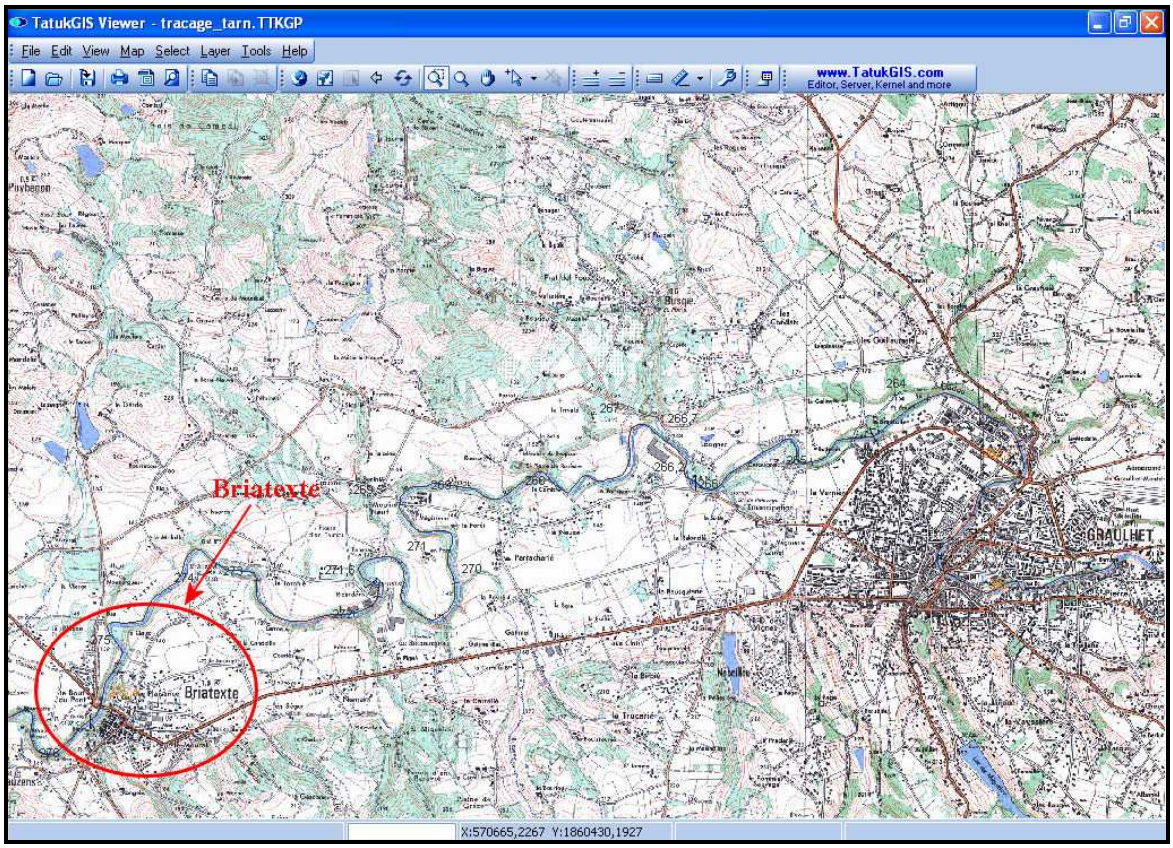
Suite à un accident de chargement dans une usine située en bordure du **Dadou** près de **Briatexe**, 4 fûts de 50 litres (= **4 x 50 kg**) d'un produit chimique toxique se déversent dans la rivière. Les rejets se produisent à **5 minutes d'intervalle** chacun. Les autorités rapidement alertées repèrent le point kilométrique du rejet via la cartographie fournie, Briatexte étant signalé à quelques kilomètres en aval de Graulhet sur le Dadou : **PK 276**.
Les points cibles repérés sur le département du Tarn et Garonne sont la prise d'eau du syndicat mixte des eaux des vallée du Tarn et Tescou, la prise d'eau de la ville de Montauban (Station de Planques), la prise d'eau de la société Lactel et la prise d'eau du SIE Bas Quercy.
La Feuille de Données Sécurité (FDS) du produit rejeté indique un seuil de toxicité à **14 microg/l**.

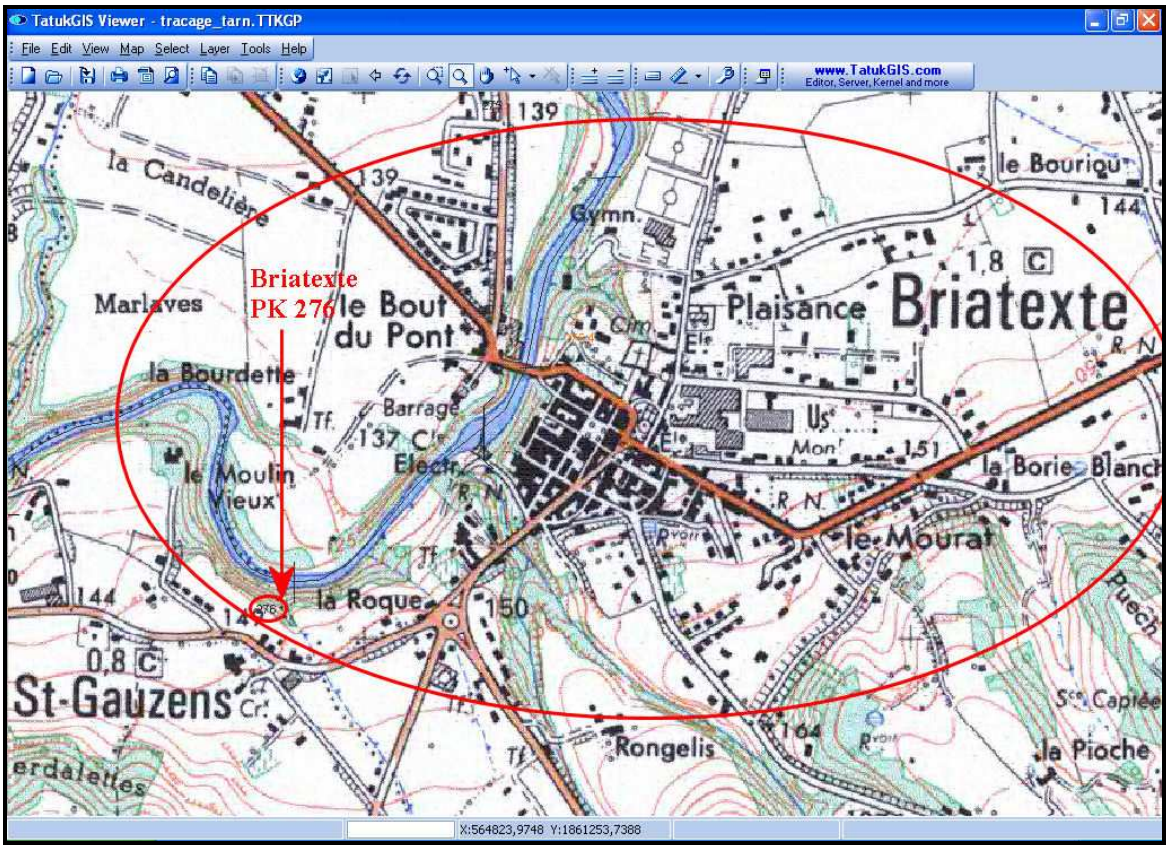
On considèrera que l'accident a lieu le **1er août** (basses eaux) à **10h** du matin.

ETAPE 1 - Repérage du point d'injection :

Il est fait usage d'un module intégré de visualisation de la zone géographique concernée avec fonction de zoom et estimation des points kilométriques (de l'accident) à renseigner pour la modélisation.


TatukGIS Viewer - tracage_tarn.TTKGP
File Edit View Map Select Layer Tools Help
www.TatukGIS.com
Editor, Server, Kernel and more
Extrémité du Dadou : Graulhet
X:564035,2932 Y:1900858,4175

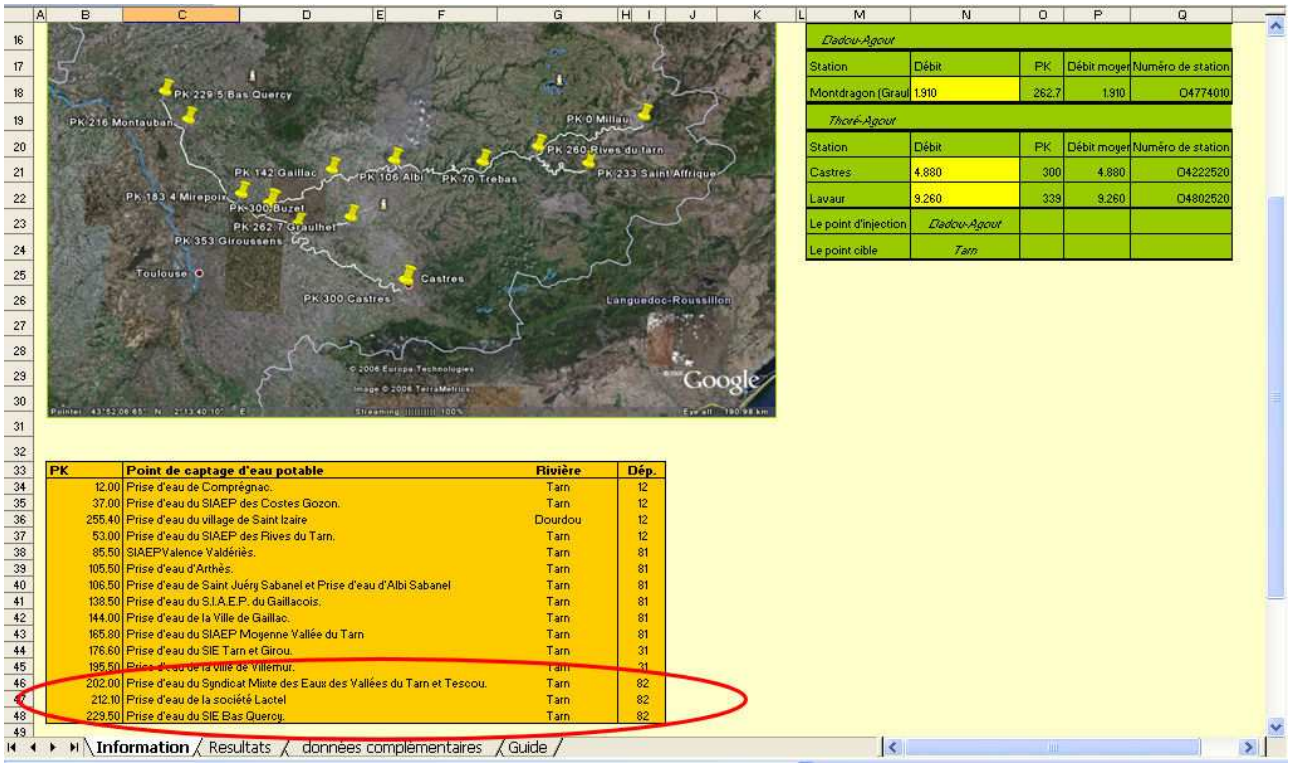

TatukGIS Viewer - tracage_tarn.TTKGP
File Edit View Map Select Layer Tools Help
www.TatukGIS.com
Editor, Server, Kernel and more
Briatexte
GRAULHET
X:570665,2267 Y:1860430,1927



Le point kilométrique identifié pour l'accident et l'injection de polluant est le PK276 (dans le référentiel du Dadou).

ETAPE 2 -Identification des points cibles :

Directement sur l'interface de l'outil, les points cibles connus (à la date de mise au point de l'outil) sont identifiés et leur point kilométrique est fourni. Ces éléments servent à définir les données d'entrée du calcul.

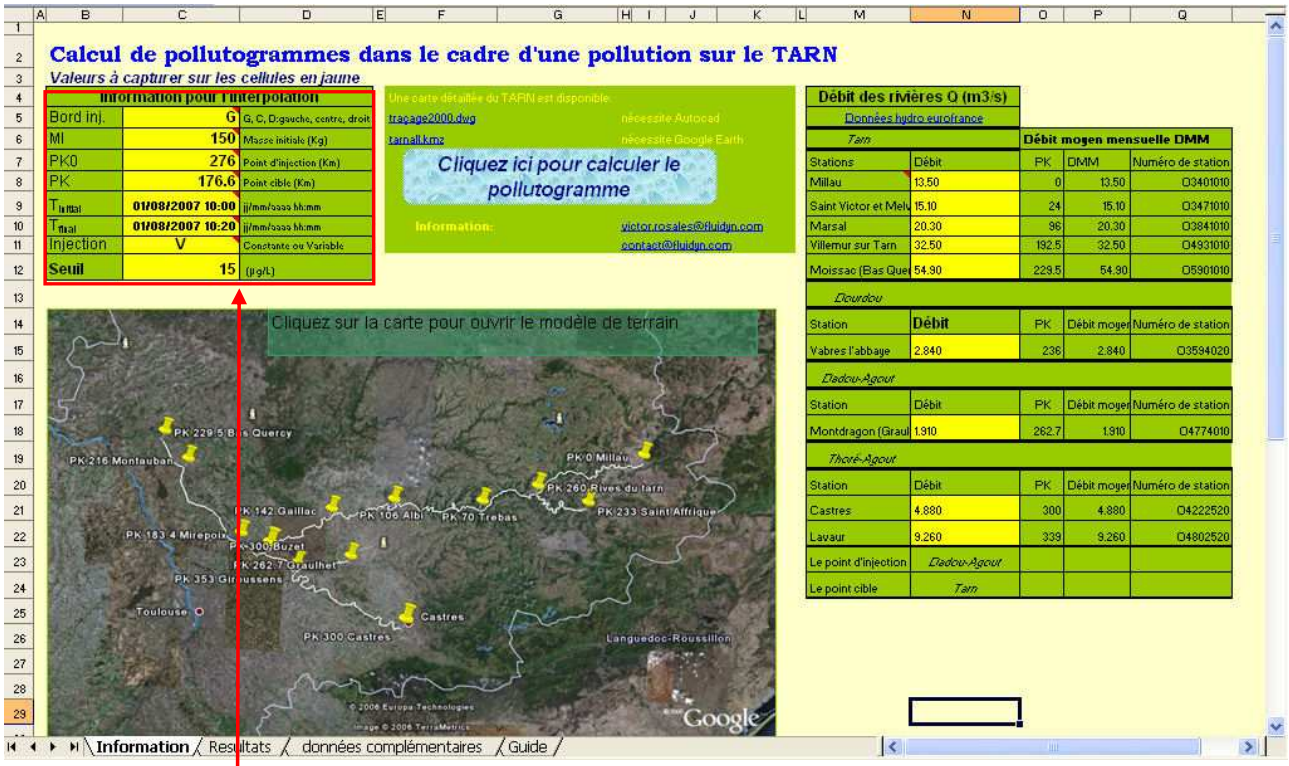


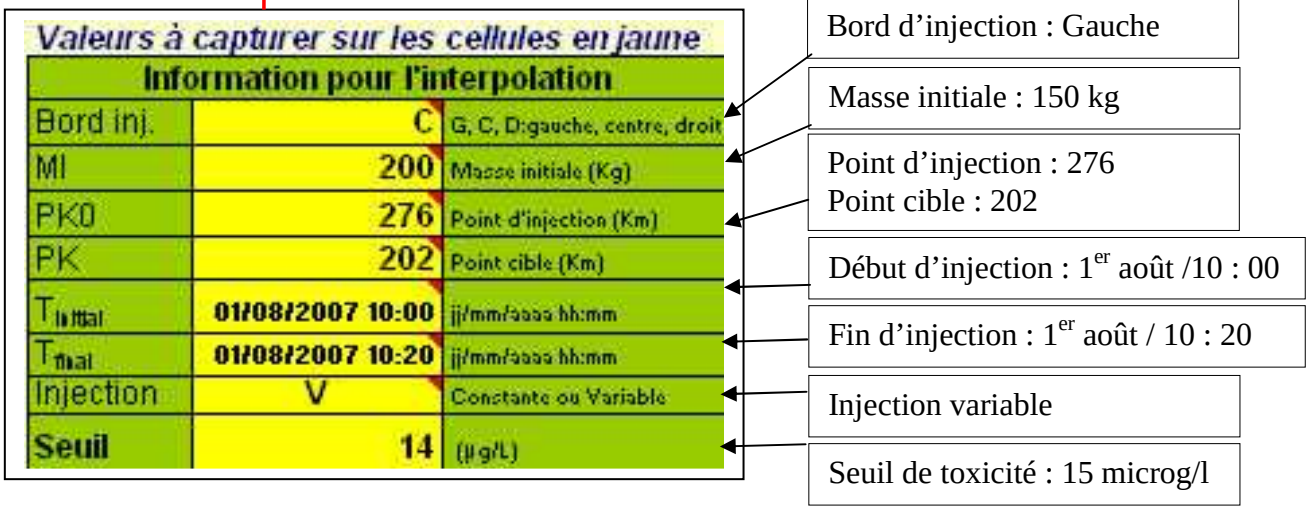
Cibles	PK
Prise d'eau du syndicat mixte des eaux des vallées du Tarn et Tescou	202
Station de Planques (Montauban) Prise d'eau de la société Lactel	212
Prise du SIE Bas Quercy	229.5

ETAPE 3 - Renseignement des données :

Le reste des données à fournir pour la description de l'accident sont issues de l'analyse préliminaire de l'accident :

- masse injectée
- durée d'injection
- produit seuil





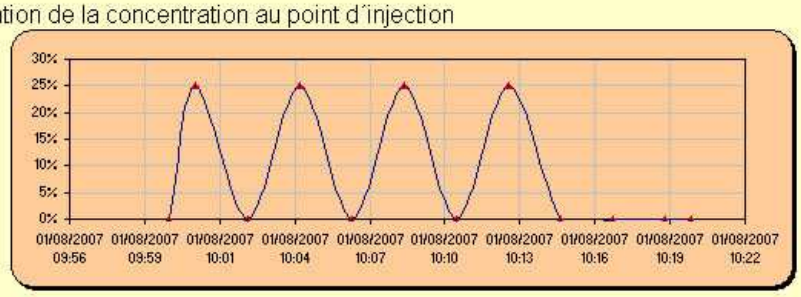
L'injection est définit comme variable (chaque rejet est espacé de 5 minutes avec le précédent), les

détails de cette injection sont donc à renseigner de la manière suivante :

Détail de l'injection variable:

changer les pourcentages selon la variation de la concentration au point d´injection

	Date temps	100 % Masse totale
Initiale	01/08/2007 10:00	0%
1 block	01/08/2007 10:01	25.00%
2 block	01/08/2007 10:03	0.00%
3 block	01/08/2007 10:05	25.00%
4 block	01/08/2007 10:07	0.00%
5 block	01/08/2007 10:09	25.00%
6 block	01/08/2007 10:11	0.00%
7 block	01/08/2007 10:13	25.00%
8 block	01/08/2007 10:15	0.00%
9 block	01/08/2007 10:17	0.00%
10 block	01/08/2007 10:19	0.00%
Finale	01/08/2007 10:20	0%



ETAPE 4 – Choix des régimes hydrauliques (débits sur la zone à analyser)

Les débits pour chaque station DIREN sont automatiquement donnés en fonction de la période d'injection (débit moyen mensuel). Ces données ont été intégrées à l'outil sur la base des informations moyennes statistiques extraites de la base de données DIREN. Toutefois, si l'utilisateur dispose de données récentes locales (contact avec chaque exploitant des stations de mesures) ou s'il souhaite utiliser les données mesurées quelques jours avant. Il peut se connecter sur le serveur par le lien sur la base de donnée hydro France. Les données par station (consultées par formulaire avec le numéro de station (ex : O49301010 pour Villemur sur Tarn) peuvent être alors renseignées dans les cellules jaunes (en remplacement des valeurs climatologiques).

Débit des rivières Q (m3/s)				
Données hydro eurofrance				
Tarn		Débit moyen mensuelle DMM		
Stations	Débit	PK	DMM	Numéro de station
Millau	13.50	0	13.50	O3401010
Saint Victor et Melu	15.10	24	15.10	O3471010
Marsal	20.30	96	20.30	O3841010
Villemur sur Tarn	32.50	192.5	32.50	O4931010
Moissac (Bas Que	54.90	229.5	54.90	O5901010
Dourdou				
Station	Débit	PK	Débit moyer	Numéro de station
Vabres l'abbaye	2.840	236	2.840	O3594020
Dadou-Agout				
Station	Débit	PK	Débit moyer	Numéro de station
Montdragon (Graul	1.910	262.7	1.910	O4774010
Thoré-Agout				
Station	Débit	PK	Débit moyer	Numéro de station
Castres	4.880	300	4.880	O4222520
Lavaur	9.260	339	9.260	O4802520
Le point d'injection	*Dadou-Agout*			
Le point cible	*Tarn*			

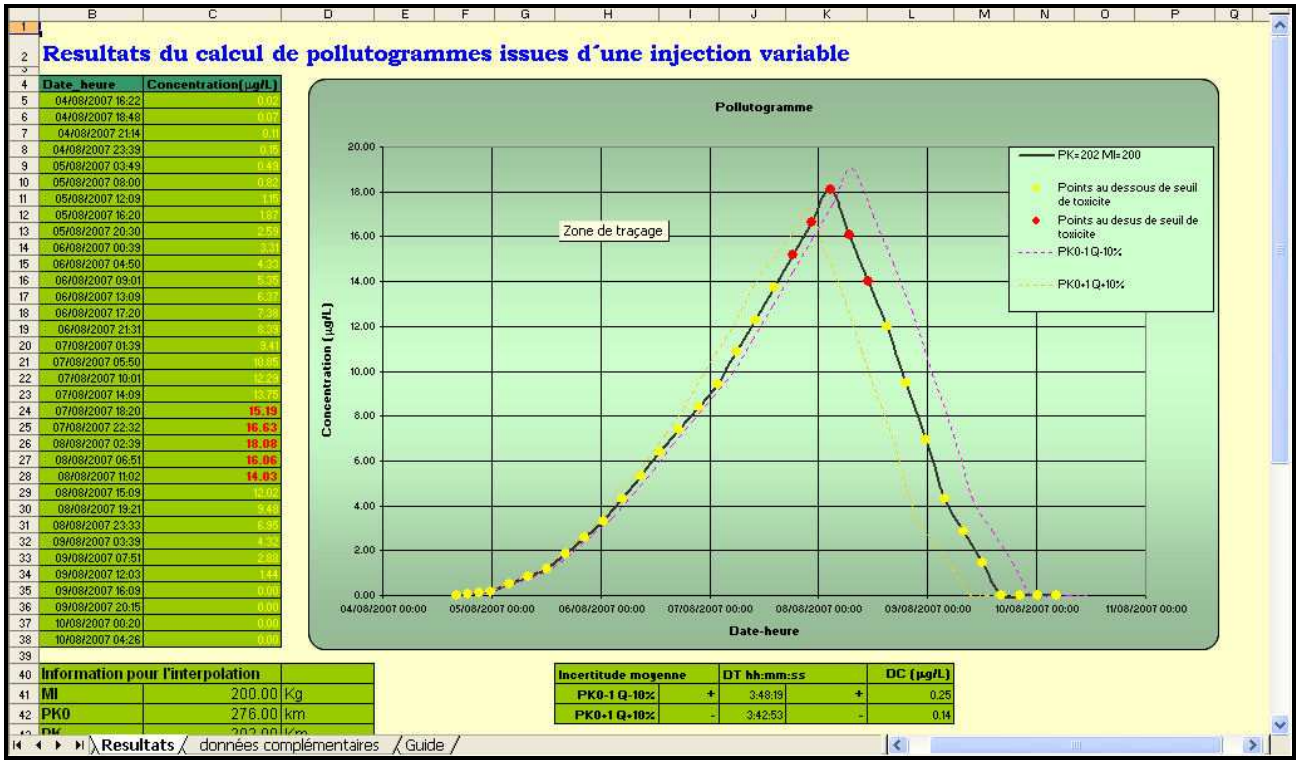
ETAPE 6 – Calcul des pollutogrammes et Analyse pour aide à la décision

En cliquant sur l'étiquette suivante, l'utilisateur lance le calcul du pollutogramme.

Trois pollutogrammes sont calculés :

- Pollutogramme résultat (——) : Les points rouges (•) indiquent les valeurs dépassant le seuil de toxicité. Les points jaunes (•) indiquent les valeurs inférieures au seuil de toxicité.
- Pollutogramme d'incertitude PK0-1 Q-10% (·····)
- Pollutogramme d'incertitude PK0+1 Q+10% (·····)

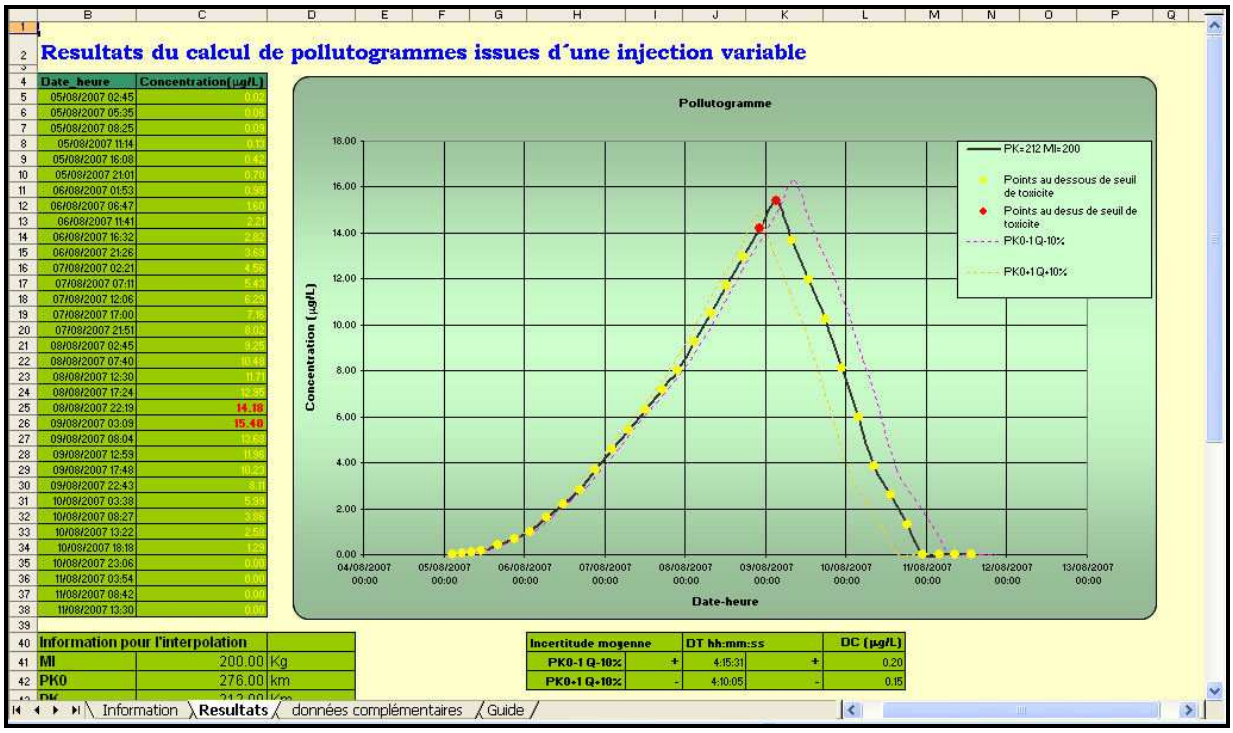
Ces derniers pollutogrammes fournissent une indication des incertitudes moyennes qui peuvent être induites par une méconnaissance précise (a) du point d'injection (b) du débit. Les écarts produits sont obtenus pour une erreur de 1km sur l'injection et de 10% sur le débit.



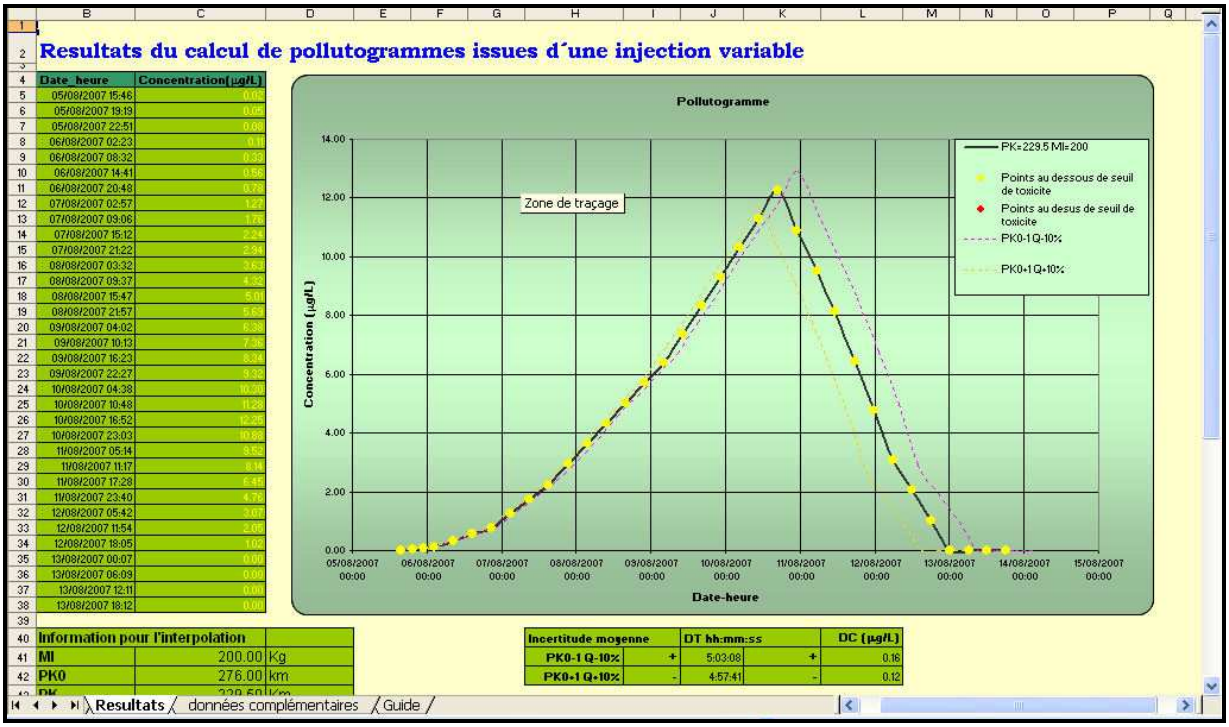
Le pollutogramme montre que la nappe de polluant arrivera au niveau de la station de pompage environ 4 jours et 6h après la fin de l'injection, c'est-à-dire le 4 août à 16h. Le seuil de toxicité sera dépassé le 7 août aux alentour de 18h et un pic de concentration de 18.06 microg/l sera atteint le 8 août aux alentours de 02h30. La concentration décroîtra ensuite lentement pour atteindre une traîne dont la concentration est négligeable.

Cet abaque permet donc de prévoir que le pompage au niveau de la prise d'eau du syndicat mixte des eaux de la vallée du Tarn et Tescou doit être suspendu au plus tard 7 jours et 8h après la fin de l'injection dans le cas de l'accident décrit ci-dessus (donc au plus tard le 07/08 à 18h). Le seuil de toxicité est dépassé jusqu'à environ 11h le 08/08. La reprise de la production d'eau potable pompée à cette station devra toutefois être validée par campagne d'analyses.

Pollutogramme de la prise d'eau de al société Lactel :



Pollutogramme du SIE Bas Quercy :



Le tableau suivant récapitule les temps d'arrivée de la nappe, le temps de passage du pic et la concentration au pic pour chacun des points cibles :

Cibles	Heure d'arrivée	Heure de passage du pic	Concentration au pic (microg/l)
Prise d'eau du syndicat mixte des eaux des vallées du Tarn et Tescou	04/08 16h22	08/08 2h39	18.08
Staion de Planques (Montauban) Prise d'eau de la société Lactel	05/08 02h45	09/08 03h09	15.40
Prise d'eau du SIE Bas Quercy	05/08 15h46	10/08 16h52	12.25