

# Élaboration de carte des surfaces inondables TRI de Lille et Lens

Phase 4 et 5: Cartographie des zones  
inondables à partir de la modélisation  
hydraulique sur les TRI de Lille et de Lens



# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>1</b>	<b>Préambule .....</b>	<b>9</b>
1.I	Contexte et objectif de l'étude .....	9
1.II	Déroulement de l'étude.....	9
1.III	Cadrage de la modélisation hydraulique.....	10
<b>2</b>	<b>Hydrologie .....</b>	<b>12</b>
2.I.1	Phase 1 : Analyse de la documentation, du fonctionnement du bassin versant et des données SHYREG.....	12
2.I.1.1	Analyse des documents existants .....	12
2.I.1.2	Fonctionnement général des bassins versants .....	13
2.I.1.3	Analyse des données SHYREG .....	13
2.I.1.4	Cohérence SHYREG / documentation existante.....	14
2.I.2	Phase 2 : Comparaison des quantiles de crue estimés par la méthode du Gradex esthétique avec ceux de SHYREG .....	15
2.I.2.1	Le débit spécifique .....	16
2.I.2.2	Correction brute par point de calcul et période de retour.....	17
2.I.3	Phase 3 : Application de correctifs sur les débits SHYREG sur les stations-bassins de contrôle et ensuite en sites non jaugés .....	19
2.I.4	Phase 4 : Production d'hydrogrammes de référence pour une modélisation hydraulique en régime transitoire.....	20
2.I.4.1	Hydrogrammes de crues non horodatés .....	21
<b>3</b>	<b>Cas des situations non débordantes .....</b>	<b>25</b>
3.I	Hypothèses de modélisation .....	25
3.II	Modèle hydraulique 1D sur le TRI de Lille.....	33
3.II.1	Présentation du modèle .....	33
3.II.2	Vérification du modèle.....	36
3.II.2.1	Les sections en travers .....	36
3.II.2.2	Les biefs .....	38
3.II.2.3	Les ouvrages .....	40
3.II.2.4	Les conditions initiales.....	41
3.II.2.5	Les conditions aux limites.....	42
3.II.2.6	Les paramètres numériques.....	43
3.II.2.7	Validation des scenarii de calage .....	44
3.II.2.8	Conclusions.....	46
3.II.3	Exploitation du modèle 1D pour des événements fréquent, moyen et extrême .....	46
3.III	Modèle hydraulique 1D sur le TRI de Lens.....	47
3.III.1	Présentation du modèle .....	47
3.III.2	Vérification du modèle.....	52
3.III.2.1	Les sections en travers .....	52
3.III.2.2	Les biefs .....	55
3.III.2.3	Les ouvrages .....	56
3.III.2.4	Les conditions initiales.....	56

3.III.2.5	Les conditions aux limites .....	56
3.III.2.6	Les paramètres numériques .....	59
3.III.2.7	Validation du calage .....	59
3.III.2.8	Conclusions .....	59
3.III.3	Exploitation du modèle 1D pour des événements fréquent, moyen et extrême .....	59
<b>4</b>	<b>Cas des situations débordantes .....</b>	<b>60</b>
4.I	Hypothèses de modélisation .....	62
4.II	Modèle hydraulique 2D sur le TRI de Lens.....	64
4.II.1	Construction du modèle 2D.....	64
4.II.1.1	Délimitation de la zone d'étude .....	64
4.II.1.2	Données topographiques .....	66
■	Le lit majeur .....	66
■	Le lit mineur.....	67
4.II.1.3	Réalisation du maillage sur Bluekenue.....	69
■	Prise en compte des remblais .....	70
■	Prise en compte des ouvrages de franchissement .....	71
■	Réalisation du maillage.....	71
■	Modèle topographique.....	71
■	Coefficient de rugosité .....	74
4.II.2	Calage du modèle 2D .....	76
4.II.3	Hydrogrammes et paramétrage du modèle .....	76
A-	Hydrogrammes.....	76
B-	Condition à la limite avale.....	80
C-	Condition initiale.....	80
D-	Pas de temps de calcul.....	80
4.II.4	Rendus et analyse du modèle 2D sur le TRI de Lens .....	80
4.II.4.1	Atlas cartographique .....	80
A-	Crue décennale .....	81
B-	Crue centennale .....	81
C-	Crue millénaire .....	82
4.II.4.2	Hydrogrammes en sortie de modèle 2D .....	82
4.III	Modèle hydraulique 2D sur le TRI de Lille.....	86
4.III.1	Construction du modèle 2D.....	86
4.III.1.1	Délimitation de la zone d'étude.....	86
4.III.1.2	Données topographiques .....	87
■	Le lit majeur .....	87
■	Le lit mineur .....	90
4.III.1.3	Réalisation du maillage sur Bluekenue .....	91
■	Prise en compte des remblais .....	92
■	Prise en compte des ouvrages de franchissement .....	94
■	Réalisation du maillage .....	94
■	Prise en compte de la rugosité .....	97
4.III.2	Calage du modèle 2D .....	99
4.III.3	Hydrogrammes et paramétrage du modèle .....	99

A- Hydrogrammes .....	99
B- Condition à la limite avale .....	103
C- Condition initiale .....	103
D- Pas de temps de calcul.....	103
4.III.4 Rendus et analyse du modèle 2D sur le TRI de Lens.....	103
4.III.4.1 Atlas cartographique.....	103
A- Harmonisation des résultats de la Marque .....	104
B- Crue décennale.....	105
C- Crue centennale.....	105
D- Crue millénaire.....	106
4.III.4.2 Hydrogrammes en sortie de modèle 2D.....	106
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>111</b>
Annexe 1 .....	113

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1 : Fonctionnement global du territoire (source : DHE) .....	13
Figure 2 : Nœuds de calcul hydrologiques (source : DHE).....	14
Figure 3 : Résultats Q10, Q100 et Q1000 en fonction de la surface (source : DHE)19	
Figure 4 : Mise en place des hydrogrammes de crue (source : DHE) .....	20
Figure 5 : hydrogrammes mono-fréquence 10 ans - bassin de la Deûle.....	21
Figure 6 : hydrogrammes mono-fréquence 100 ans - bassin de la Deûle.....	22
Figure 7 : hydrogrammes mono-fréquence 1000 ans - bassin de la Deûle.....	23
Figure 8 : hydrogrammes mono-fréquence 10, 100 et 1000 ans - bassin de la Lys ..	24
Figure 9 : TRI Lille : hydrogrammes d'entrée Q10.....	27
Figure 10 : TRI Lille : hydrogrammes d'entrée Q100.....	28
Figure 11 : TRI Lille : hydrogrammes d'entrée Q1000.....	29
Figure 12 : TRI Lens : hydrogrammes d'entrée Q10.....	30
Figure 13 : TRI Lens : hydrogrammes d'entrée Q100.....	31
Figure 14 : TRI Lens : hydrogrammes d'entrée Q1000.....	32
Figure 15 : localisation des ouvrages hydrauliques dans le modèle 1D .....	41
Figure 16 : débits mesurés aux stations de Marquette, Don et Armentières .....	43
Figure 17 : résultats du calage au niveau de l'écluse de Don – Décembre 2005 (Laboratoire Hydraulique Flamand, Mars 2009).....	45
Figure 18 : résultats du calage au niveau de l'écluse de Don – Février 2007 (Laboratoire Hydraulique Flamand, Mars 2009).....	45
Figure 19 : résultats du calage au niveau de l'écluse de Don – Juillet 2007 (Laboratoire Hydraulique Flamand, Mars 2009).....	46
Figure 20 : vue du réseau hydrographique sous l'interface Mike 11 .....	47

Figure 21 : Exemple de sections en travers issus du modèle hydraulique 1D sur Lens .....	51
Figure 22 : débits mesurés entrant à Douai sur la Deûle;.....	57
Figure 23 : débits mesurés entrant en sortie de Lens sur le Canal de Lens ;.....	57
Figure 24 : débits mesurés entrant aux Augustins sur la Scarpe .....	58
Figure 25 : débits mesurés sortant à Fort de Scarpe sur la Scarpe .....	58
Figure 26 : Délimitation de la zone d'étude.....	65
Figure 27 : Topographie du lit majeur.....	67
Figure 28 : Bathymétrie manquante .....	69
Figure 29 : Discontinuités topographiques.....	70
Figure 30 : Modélisation des ouvrages de franchissement.....	71
Figure 31 : Maillage du modèle TRI Lens .....	72
Figure 32 : légende de l'atlas cartographique .....	81
Figure 33 : Délimitation de la zone d'étude .....	87
Figure 34 : Mise en forme des données MNT Lidar .....	88
Figure 35 : Topographie du lit majeur sur l'emprise du modèle hydraulique 2D du TRI Lille .....	89
Figure 36 : Les données topographiques en lit mineur.....	91
Figure 37 : Localisation des principales discontinuités.....	93
Figure 38 : Présentation du maillage .....	95
Figure 39 : Vues 2D et 3D du maillage .....	96
Figure 40 : Prise en compte de la rugosité.....	98
Figure 41 : légende de l'atlas cartographique .....	104
Figure 42 : zone commune aux études PPRI Marque et TRI Lille .....	105

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 : description biefs représentés dans le modèle hydraulique 1D Mike 11 ..	48
Tableau 2 : Inventaire des fichiers du dossier de modélisation 1D écluse de Don manuelle sur Lens transmis par VNF .....	49
Tableau 3 : Inventaire des fichiers du dossier de modélisation 1D écluse de Don automatique sur Lens transmis par VNF .....	50
Tableau -4 : Coefficients de rugosité en fonction de l'occupation du sol .....	74
Tableau -5 : Débits de pointe des hydrogrammes du modèle 2D TRI Lens (m <sup>3</sup> /s)...	76
Tableau 6 : Tableau des débits maximums (m <sup>3</sup> /s) atteints en différents points sur le TRI de Lens .....	82
Tableau 7 : Prise en compte des ouvrages de franchissement hydraulique .....	94
Tableau -8 : Débits de pointe des hydrogrammes du modèle 2D TRI Lille (m <sup>3</sup> /s) ...	99
Tableau 9 : Tableau des débits maximums (m <sup>3</sup> /s) atteints en différents points sur le TRI de Lille.....	106



## Préambule

### 1.I Contexte et objectif de l'étude

La directive européenne du 23 Octobre 2007, relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation consiste à élaborer les cartes des surfaces inondables et des cartes des risques inondation dans les TRI pour trois probabilités de dépassement, et ce pour le 22 Décembre 2013.

C'est dans ce contexte de mise en œuvre de la DI que s'inscrit la présente étude, intitulée « Élaboration de cartes des surfaces inondables (mise en œuvre de la Directive inondation) – événements fréquent, moyen et extrême – TRI de Lille, Lens ».

Le contenu de l'étude comprend pour chacun des TRI de Lille et Lens :

- Une analyse de la documentation et du fonctionnement des bassins versants ;
- Une cartographie hydrogéomorphologique ;
- Une cartographie issue du croisement **hydrogéomorphologie/LiDAR** ;
- Une cartographie issue du **modèle hydraulique** ;
- Une cartographie **harmonisée**.

### 1.II Déroulement de l'étude

Cette étude s'est déroulée en 5 phases :

- ♦ **Phase 1 : Analyse de la documentation et du fonctionnement du bassin versant.** Elle a pour objectifs d'effectuer une première analyse du fonctionnement hydraulique du bassin versant et de poser l'ensemble des spécificités/interrogations sur le secteur d'étude, afin d'adapter la méthodologie à mettre en œuvre.
- ♦ **Phase 2 : Cartographie hydrogéomorphologique.** Elle consiste à délimiter les différentes unités hydrogéomorphologiques de la plaine alluviale, l'enveloppe maximale des inondations, et à comprendre le mode de fonctionnement des

cours d'eau au cours de son histoire. Elle donne lieu à un document cartographique.

- ◆ **Phase 3 : Cartographie des zones inondables à partir du croisement hydrogéomorphologique et Lidar.** Elle permet d'obtenir les hauteurs d'eau en confrontant les résultats de la phase 2 avec un traitement du Lidar. Elle donne lieu à un document cartographique.
- ◆ **Phase 4 : Modélisation et cartographie des zones inondables.** Elle comprend une modélisation hydraulique simplifiée du lit mineur pour trois situations hydrologiques différentes et la cartographie des zones inondables.
- ◆ **Phase 5 : Harmonisation des cartographies sur le TRI de Lille.** Il s'agit d'intégrer la cartographie des zones inondables de la Marque aux cartographies des phases 3 et 4 et d'en analyser les convergences/différences

**Le présent document constitue le rapport des phases 4 et 5.**

### 1.III Cadrage de la modélisation hydraulique

En phases 2 et 3 de l'étude, nous avons obtenu une cartographie des unités hydrogéomorphologiques et une cartographie des hauteurs d'eau sur les TRI de Lille et Lens.

En phases 4 et 5, l'objectif est encore de cartographier les zones inondables, mais cette fois grâce aux résultats des modèles hydrauliques.

Pour les situations non débordantes, les modèles hydrauliques 1D construits sous Mike 11 appartenant à VNF ont été vérifiés et utilisés.

Pour les situations débordantes, nous avons construit des modèles hydrauliques 2D avec Telemac 2D.

Les hydrogrammes d'apport ont été élaborés par le bureau d'études DHE en charge de l'analyse hydrologique.

Les données topographiques utilisées sont issues de levés Lidar, elles sont de bonnes précisions altimétriques ( $\pm 20$  cm). Les données bathymétriques utilisées nous ont été transmises par VNF.

En réunion de démarrage de la phase 4, le COPIL a décidé les hypothèses de modélisation suivantes :

- les apports des stations de relèvements ne sont pas pris en compte (négligeable par rapport aux débits en rivière) ;
- dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement fréquent est 10 ans, et entre 10 et 30 ans à l'aval des confluences ;
- dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement moyen est 100 ans, et entre 100 et 300 ans à l'aval des confluences ;

- dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement extrême est 1000 ans, et supérieur à 1000 ans à l'aval des confluences ;
- la localisation des conditions aux limites du modèle 2D sera la même que celle du modèle 1D existant ;
- les simulations seront effectuées en régime transitoire ;
- les coefficients de rugosités en lit majeur seront spatialisés et dépendront de l'occupation du sol ;
- les ponts sont considérés transparents hydrauliquement ;
- les écluses sont considérées en configuration fermée ;
- les barrages sont considérées en configuration ouverte ;
- les prises d'eau sont fermées ;
- les digues sont fonctionnelles ;
- aucun échange de flux dans les interconnexions des bassins n'est pris en compte.

## Hydrologie

L'analyse hydrologique sur les TRI de Lille et de Lens a été réalisée par le bureau d'études Design Hydraulique & Énergie (DHE) basé à Aix en Provence.

Ce chapitre présente brièvement les 4 phases de l'analyse hydrologique ainsi que les résultats fournis à SAFEGE.

SAFEGE a ensuite réalisé une analyse du temps de propagation des hydrogrammes dans le temps de manière à déterminer l'horloge des crues la plus défavorable avec une concomitance des pics de crue.

### 2.I.1 Phase 1 : Analyse de la documentation, du fonctionnement du bassin versant et des données SHYREG

#### 2.I.1.1 Analyse des documents existants

La méthodologie mise en place par le bureau d'étude se base au préalable sur les études hydrauliques existantes sur les bassins versants concernés par les TRI de Lille et de Lens.

La synthèse tirée de cette approche est la suivante :

Il y a sur le territoire 4 études dont les résultats sont exploitables :

- ◆ AZI de la Scarpe aval : TRI de Douai et de Valenciennes ;
- ◆ AZI de la Marque : un sous bassin versant sur le TRI de la Deûle ;
- ◆ PPRI de la Selle : un sous bassin versant sur le TRI de Valenciennes ;
- ◆ PPRI de l'Écaillon : un sous bassin versant sur le TRI de Valenciennes.

La méthode hydrologique mise en place sur l'ensemble de ces études correspond à une démarche basée sur des données hydrologiques d'entrée peu fiables :

- Définition des débits décennaux basée sur une analyse pluviométrique et des méthodes pluies / débits classiques ;

- Définition des débits centennaux à partir de la méthode du Gradex.

### 2.I.1.2 Fonctionnement général des bassins versants

Une analyse des stations hydrométriques présentes sur le territoire a été effectuée. Celle-ci met en évidence le fait que **peu de stations sont exploitables** pour l'étude (7/23 seulement) en raison du manque de fiabilité des données.

Une analyse du réseau hydrographique structurant et des bassins versants à prendre en compte a été mise en place avec analyse des points d'injection de débit dans les cours d'eau. Le fonctionnement global de la zone est ainsi analysé (voir figure ci-dessous).

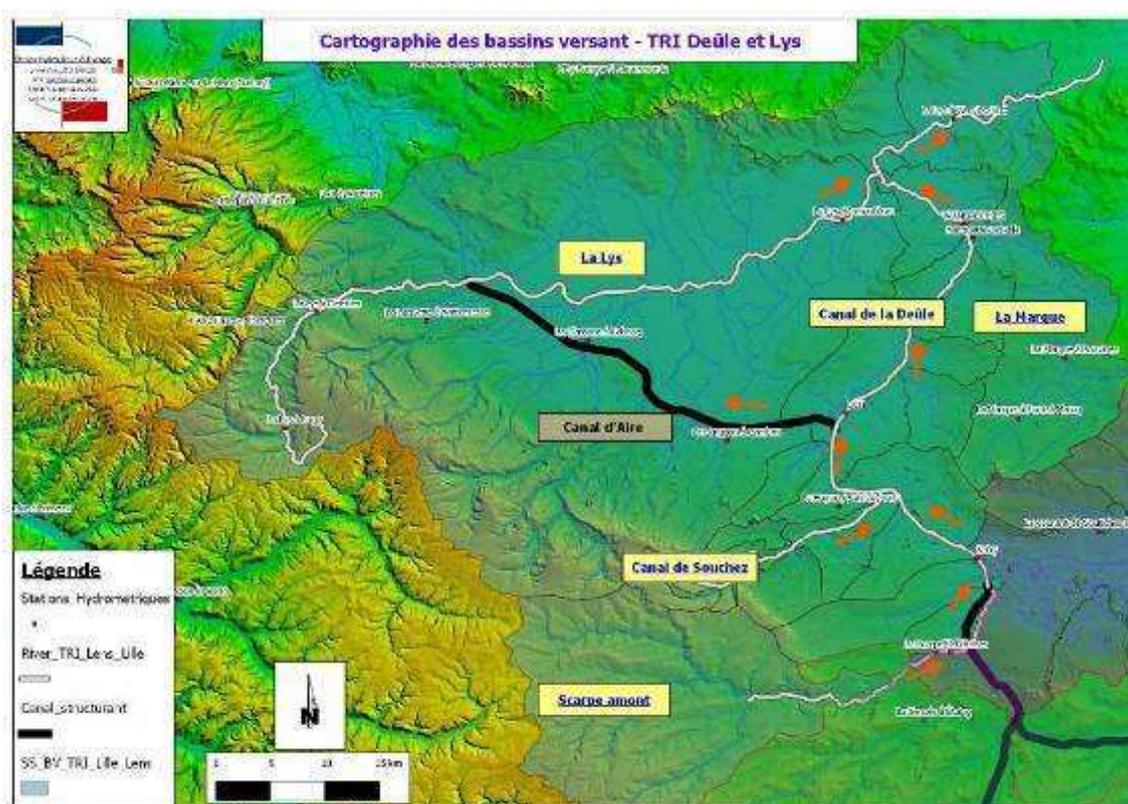


Figure 1 : Fonctionnement global du territoire (source : DHE)

Le réseau hydrographique structurant étant navigable, des hypothèses ont été déterminées de manière à prendre en compte cette réalité non négligeable.

### 2.I.1.3 Analyse des données SHYREG

Plusieurs points de calculs hydrologiques sont définis sur la base de l'analyse précédente. Les points SHYREG ainsi exploités sont présentés dans le tableau suivant :

ID	Nom Point	Type_noeud	Surface (km²)	Point SHYREG exploité	
				ID_SHYREG	Surface (km²)
D1	Deûle (point d'entrée)	Point non jaugé	502.0	AS_548	588.8
D2	Deûle (amont confluence avec canal de Lens)	Point non jaugé	600.0	AS_567	786.7
D3	Source du Souchez	Point non jaugé	32.1	AS_6194	37.2
D4	Canal de Lens	Point non jaugé	112.4	AS_2682	114.2
D5	Canal de Lens (amont Deûle)	Point non jaugé	159.6	AS_573	149.3
D6	Deûle (aval du canal de Lens)	Point non jaugé	759.6	AS_6030	975.6
D7	Don	Point jaugé	911.3	AS_583	1085.8
D8	injection canal Sedin	Point non jaugé	995.7	AS_599	1197.3
D9	injection Rigole du Nord	Point non jaugé	1096.1	AS_602	1228.7
D10	amont Marque	Point non jaugé	1176.4	AS_606	1323.3
D11	Wambrechies	Point jaugé	1419.2	AS_610	1587.2
L1	Armentières	Point jaugé	1779.8	AS_746	1807.5
L2	Lys aval	Point non jaugé	3325.4	AS_622	3466.2
L3	Lys aval	Point non jaugé	3531.1	AS_622	3466.2

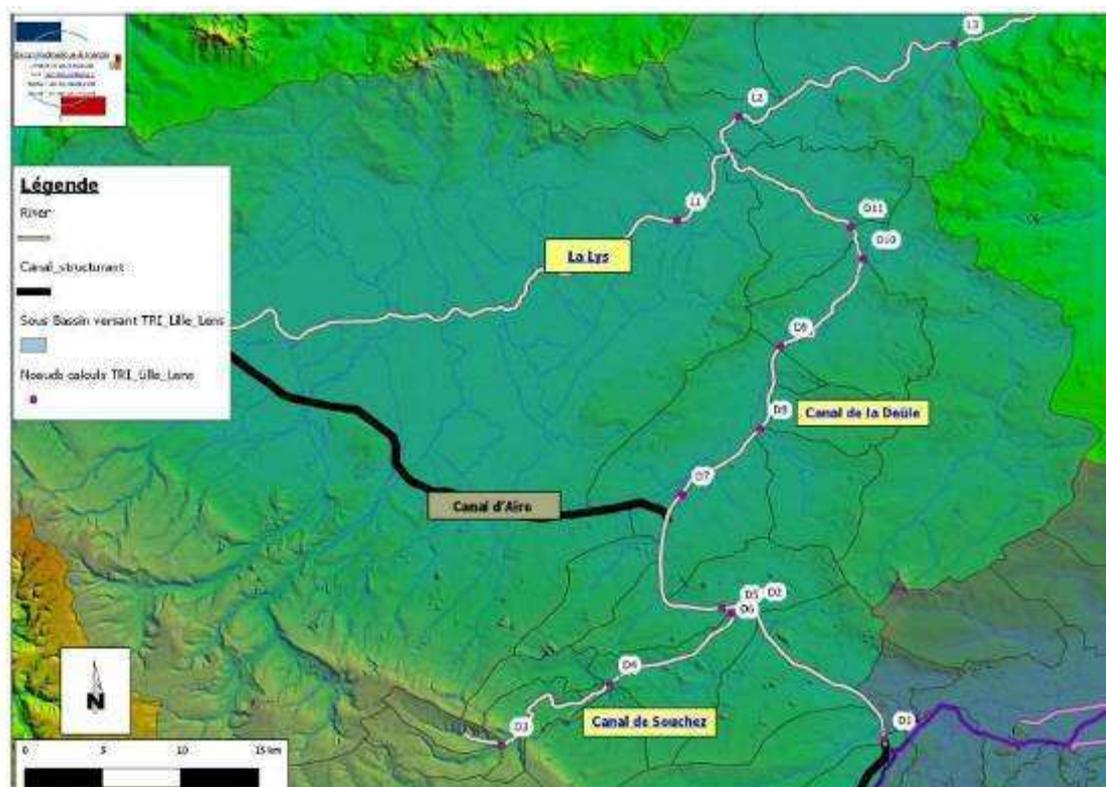


Figure 2 : Nœuds de calcul hydrologiques (source : DHE)

Le territoire étudié est bien couvert par les données SHYREG. Les surfaces drainées doivent par contre être ajustées.

#### 2.1.1.4 Cohérence SHYREG / documentation existante

Les données SHYREG sont issues de simulations au pixel transférées aux exutoires. Comme toutes les méthodes d'analyse statistique, cette méthode se base sur des hypothèses et les résultats obtenus sont soumis à des incertitudes.

Dans le cadre du présent territoire, des écarts surfaciques sur les bassins versants ont été constatés entre les différentes sources de données (SHYREG, Banque Hydro, études hydrauliques).

Les écarts constatés entre les débits de pointes issues des études SHYREG et des débits ajustés sont de l'ordre de 5 à 12 %.

## 2.I.2 Phase 2 : Comparaison des quantiles de crue estimés par la méthode du Gradex esthétique avec ceux de SHYREG

Le débit de pointe calculé à partir de la méthode du Gradex esthétique s'exprime par la formule suivante :

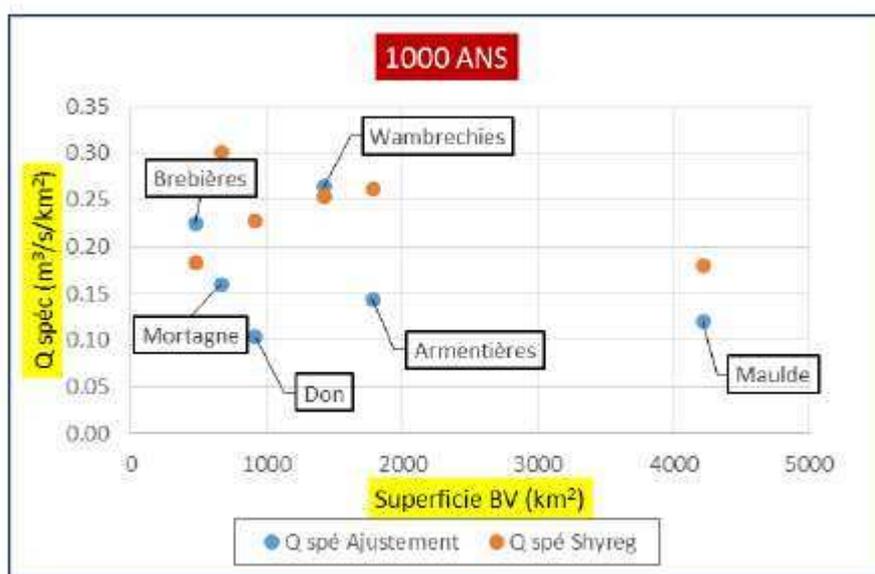
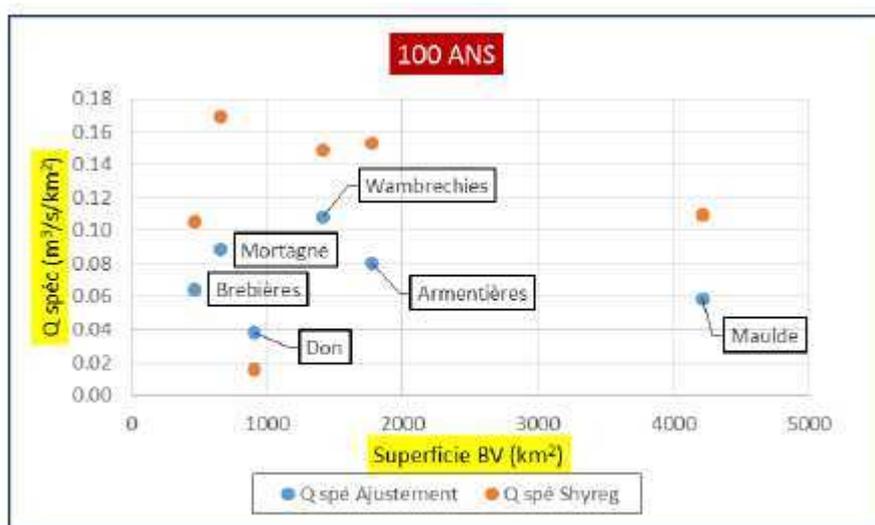
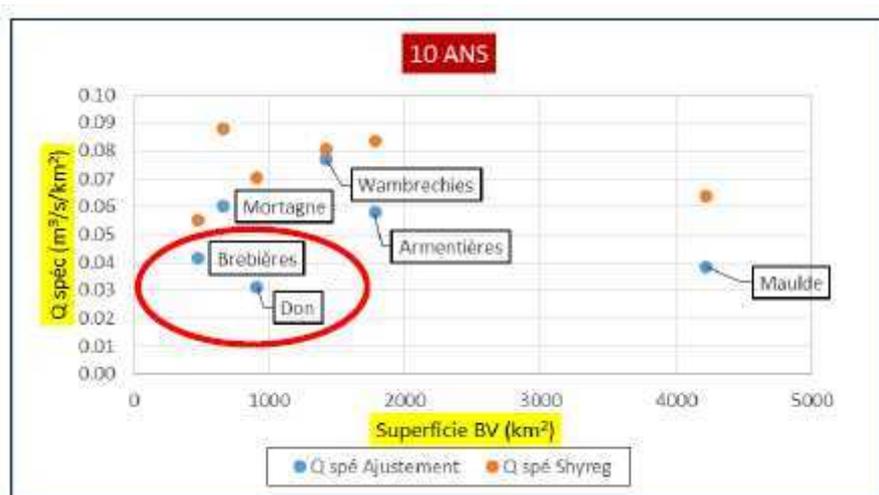
$$Q_{IX}(T) = C_{forme} * [Q_{MX}(d, T_g) + K * A_p(d) * \ln[1 + (A_q(d) / K * A_p(d)) * (T - T_g / T_g)]]$$

Avec :

- ◆  $Q_{IX}(T)$  : débit instantané maximum de période de retour  $T_g$  ;
- ◆  $d$  : durée caractéristique de crue au point de calcul ;
- ◆  $C_{forme} = Q_{IX} / Q_{moyen}(d)$  ;
- ◆  $Q_{MX}(d, T_g)$  = débit moyen maximum sur une durée  $d$  de période de retour  $T_g$  ;
- ◆  $A_p(d)$  = gradex des pluies maximales pour les intensités relatives à la durée caractéristique de crue  $d$  ;
- ◆  $K$  : coefficient d'abattement spatial pour passer des pluies ponctuelles à une pluie moyenne à l'échelle du bassin versant ;
- ◆  $A_q(d)$  = gradex des débits relatif à la durée caractéristique de crue  $d$ .

Les résultats des comparaisons entre les méthodes sont les suivants :

## 2.I.2.1 Le débit spécifique



Le débit spécifique renseigne sur le niveau de productivité du bassin versant considéré et permet ainsi une comparaison entre les différents bassins versant analysés.

Sont ainsi présentées sur les figures ci-jointes les débits spécifiques pour les trois périodes de retour analysées 10, 100 et 1000 ans pour les jeux de données issus d'une part des calculs réalisés dans le présent rapport (ajustement statistique + gradex esthétique) et d'autre part de SHYREG.

- T = 10 ans : il est étonnant de constater que les débits spécifiques à Brebières et à Don sont inférieurs à des bassins versants beaucoup plus importants. Cette observation est commune au jeu de données SHYREG. Pour cette période de retour, l'influence de l'échantillon de données est primordiale. Il est probable que l'absence d'évènements importants dans l'échantillon aboutisse à une certaine sous-estimation des quantiles de crue pour cette fréquence.

Pour les autres points, on retrouve une certaine cohérence avec des débits spécifiques sur Wambrechies et Mortagne du Nord supérieurs à ceux observés sur la Lys à Armentières et sur l'Escaut à Maulde.

- T = 100 ans : observations similaires à T = 10 ans.

- T = 1000 ans : On constate que le débit spécifique à Brebières se rapproche de celui à Wambrechies contrairement aux autres périodes de retour, s'expliquant par une pente d'accroissement plus forte (étroitement liée pour ce point à la faible durée caractéristique de crue considérée : 10 h et au gradex des débits moyens).

### **2.I.2.2 Correction brute par point de calcul et période de retour**

Dans ce paragraphe, les corrections qu'il faudrait apporter aux débits SHYREG pour retrouver les valeurs obtenues par le gradex esthétique sont abordées. Il s'agit donc simplement de calculer ce facteur de correction aux points de contrôle qui devraient être appliqués pour les trois périodes de retour étudiées.

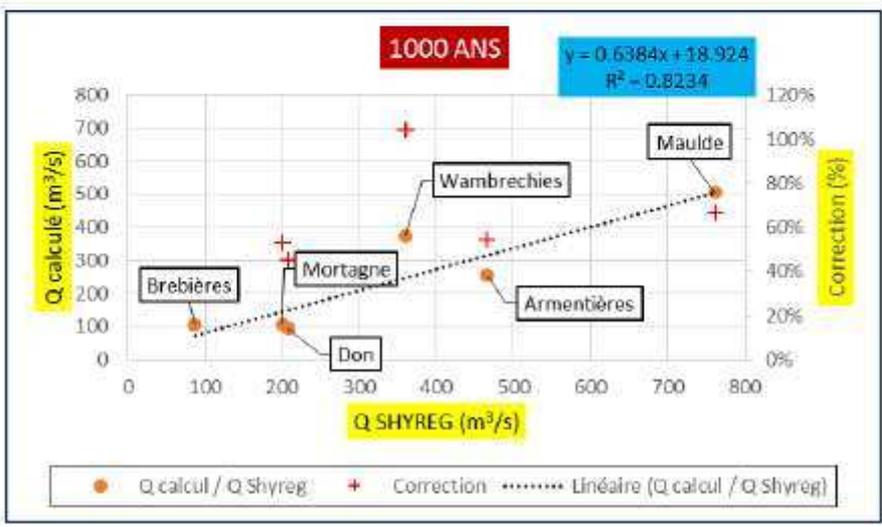
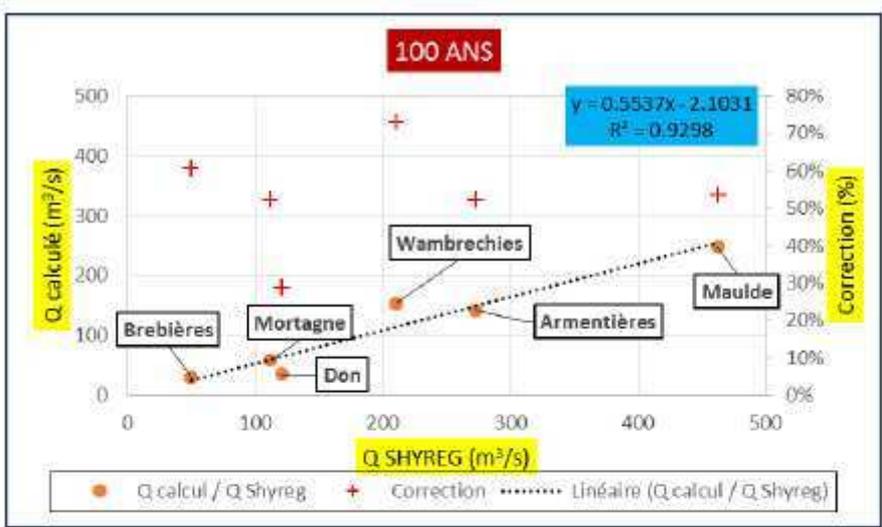
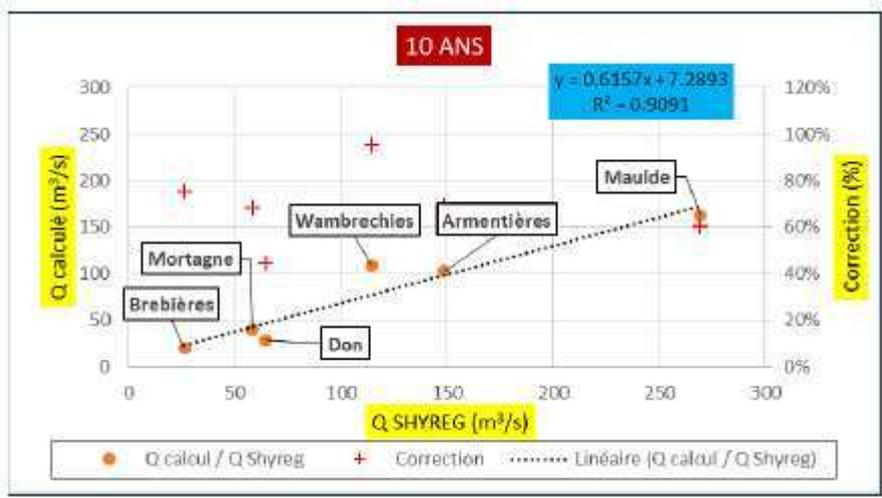
- T = 10 ans : pour la plupart des points hormis Don (56 %), la correction est inférieure à 39 %.

- T = 100 ans : pour la plupart des points hormis Don (71 %), la correction est inférieure à 48 %.

- T = 1000 ans : pour la plupart des points, la correction est inférieure à 45 %.

Difficile de dégager une règle commune pour l'ensemble des points de calcul. Il serait préférable d'appliquer une correction par zone d'influence des différents points considérés :

- Mortagne : bassin de la Scarpe aval,
- Maulde : bassin de l'Escaut
- Armentières : bassin de la Lys
- Wambrechies : bassin de la Deûle.



### 2.I.3 Phase 3 : Application de correctifs sur les débits SHYREG sur les stations-bassins de contrôle et ensuite en sites non jaugés

Le tableau ci-dessous présente les corrections apportées aux différents nœuds de calcul et pour les différentes périodes de retour sur les débits de points SHYREG conformément aux analyses des phases précédentes.

ID	Nom Point	Type_noeud	Surface (km <sup>2</sup> )	Point SHYREG exploité		10 ANS		100 ANS		1000 ANS	
				ID_SHYREG	Surface (km <sup>2</sup> )	Correction	Q10 ANS	Correction	Q100 ANS	Correction	Q1000 ANS
D1	Deûle (point d'entrée)	Point non jaugé	499.6	AS_548	588.8	0.75	21.7	0.61	33.6	0.53	51.1
D2	Deûle (amont confluence avec canal de Lens)	Point non jaugé	657.6	AS_567	786.7	0.75	31.1	0.61	48.5	0.53	73.9
D3	Source du Souchez	Point non-jaugé	32.1	AS_6194	37.2	0.75	2.4	0.61	3.9	0.53	6.4
D4	Canal de Lens	Point non-jaugé	112.4	AS_2682	114.2	0.75	12.0	0.61	19.0	0.53	30.0
D5	Canal de Lens (amont Deûle)	Point non jaugé	159.6	AS_573	149.3	0.75	18.5	0.61	29.0	0.53	45.3
D6	Deûle (aval du canal de Lens)	Point non jaugé	817.2	AS_6030	975.6	0.75	43.1	0.61	65.4	0.53	98.6
D7	Don	Point jaugé	913.0	AS_583	1085.8	0.75	48.5	0.61	73.4	0.53	110.4
D8	injection canal Secdin	Point non jaugé	997.4	AS_599	1197.3	0.75	54.9	0.61	83.0	0.53	124.7
D9	injection Rigole du Nord	Point non jaugé	1097.8	AS_602	1228.7	0.75	60.1	0.61	90.7	0.53	136.0
D10	amont Marque	Point non jaugé	1165.6	AS_606	1323.3	0.77	71.0	0.61	104.4	0.71	208.0
D11	Wambrechies	Point jaugé	1419.2	AS_610	1587.2	0.77	87.9	0.61	128.4	0.71	256.2
L1	Armentières	Point jaugé	1779.8	AS_746	1807.5	0.69	102.87	0.52	142.3	0.55	255.3
L2	Lys aval	point non-jaugé	3379.2	AS_622	3466.2	0.69	163.7	0.52	224.2	0.55	396.9
L3	Lys aval	point non-jaugé	3588.3	AS_622	3466.2	0.69	171.8	0.52	235.2	0.55	416.5

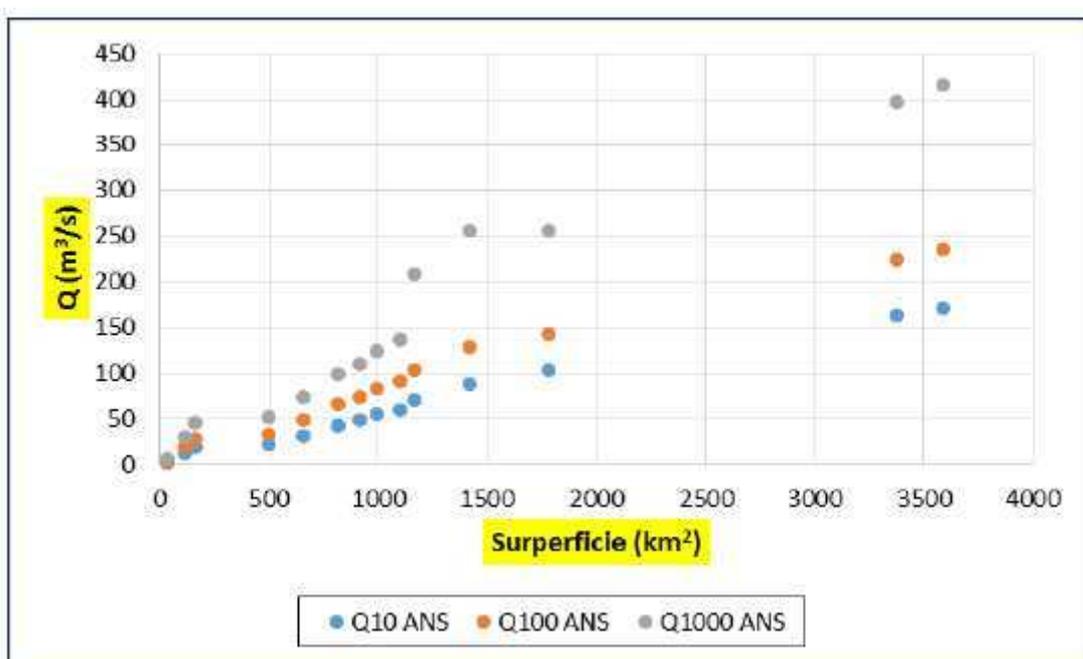


Figure 3 : Résultats Q10, Q100 et Q1000 en fonction de la surface (source : DHE)

A Brebières, les crues 10 et 100 ans sont respectivement évaluées à 19.7 et 30.4 m<sup>3</sup>/s. La plus forte crue enregistrée depuis 2005 (04 juillet 2005) était de 21.5 m<sup>3</sup>/s.

A Don, les crues 10 et 100 ans sont respectivement évaluées à 48.5 et 73.4 m<sup>3</sup>/s. La principale crue enregistrée depuis 2005 aurait pu représenter un débit de l'ordre de 31 à 33 m<sup>3</sup>/s (transfert de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>/s vers le bassin de la Scarpe aval donc non comptabilisé à la station de Don lors de cet épisode).

A Wambrechies les crues 10 et 100 ans sont respectivement évaluées à 87.9 et 128.4 m<sup>3</sup>/s. La plus forte crue enregistrée depuis 2005 était de 92.6 m<sup>3</sup>/s le 28 novembre 2005.

A Armentières les crues 10 et 100 ans sont respectivement évaluées à 102.9.3 et 142.3 m<sup>3</sup>/s. La plus forte crue enregistrée depuis 2005 était de 94.6 m<sup>3</sup>/s le 28 décembre 2012. Selon la bibliographie, deux crues respectivement mesurées à 94.0 et 95.0 m<sup>3</sup>/s en décembre 1993 et janvier 1995.

A Menin (localisé en amont du point L3), selon les statistiques des services hydrologiques belges un Q10 de 214.8 et un Q50 de 258.3 m<sup>3</sup>/s, valeurs bien supérieures aux débits obtenus à L3 avec le correctif d'Armentières.

## 2.I.4 Phase 4 : Production d'hydrogrammes de référence pour une modélisation hydraulique en régime transitoire

A partir des débits de pointes obtenus et des temps caractéristiques des bassins versants les hydrogrammes de crue sont construits.

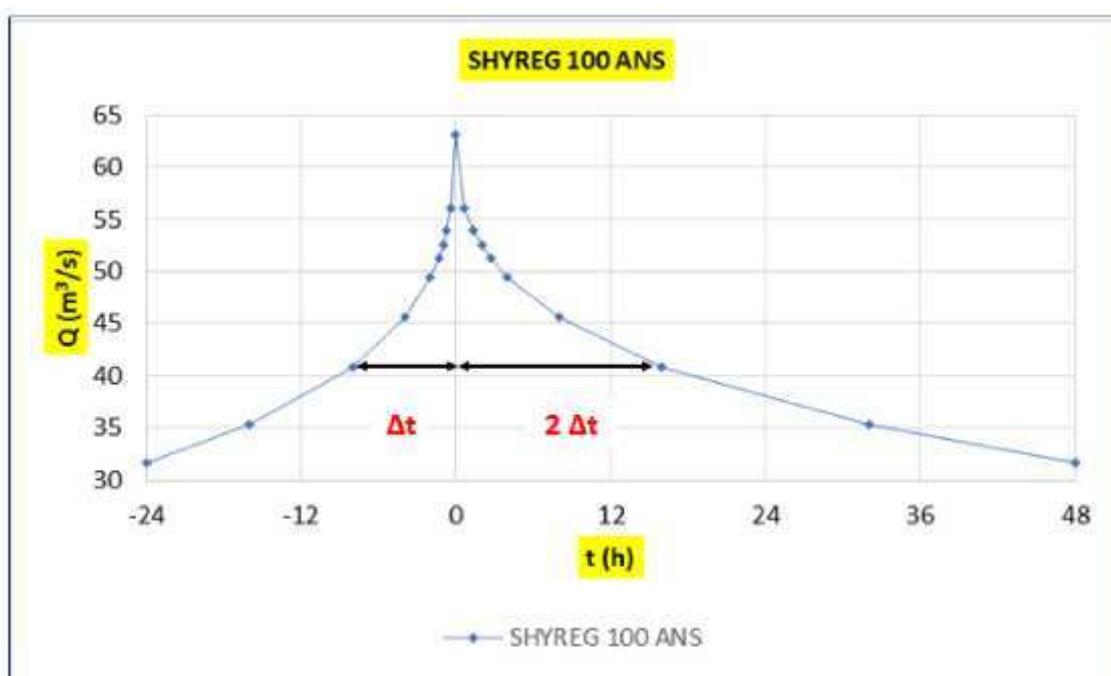


Figure 4 : Mise en place des hydrogrammes de crue (source : DHE)

### 2.I.4.1 Hydrogrammes de crues non horodatés

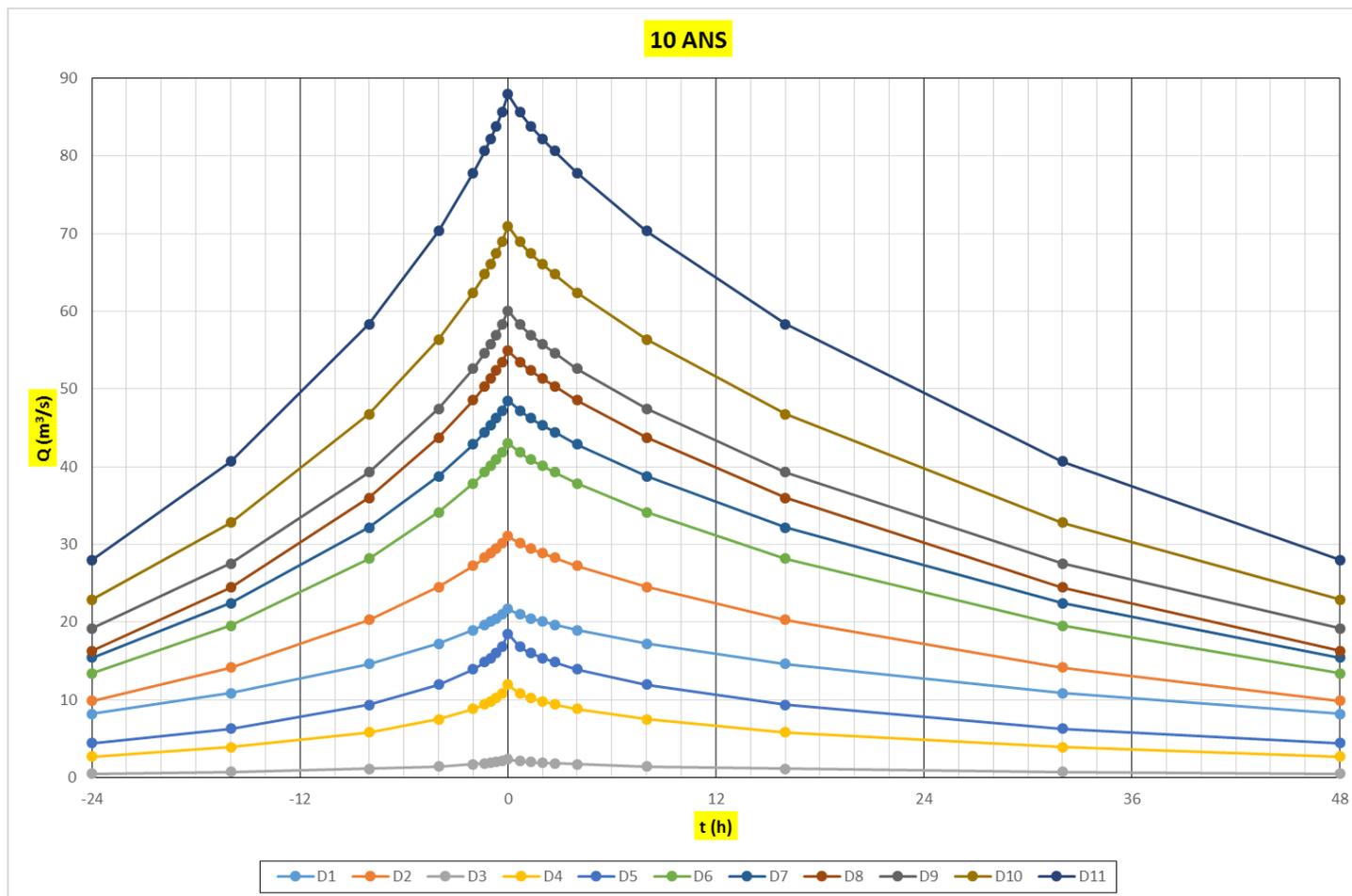


Figure 5 : hydrogrammes mono-fréquence 10 ans - bassin de la Deûle

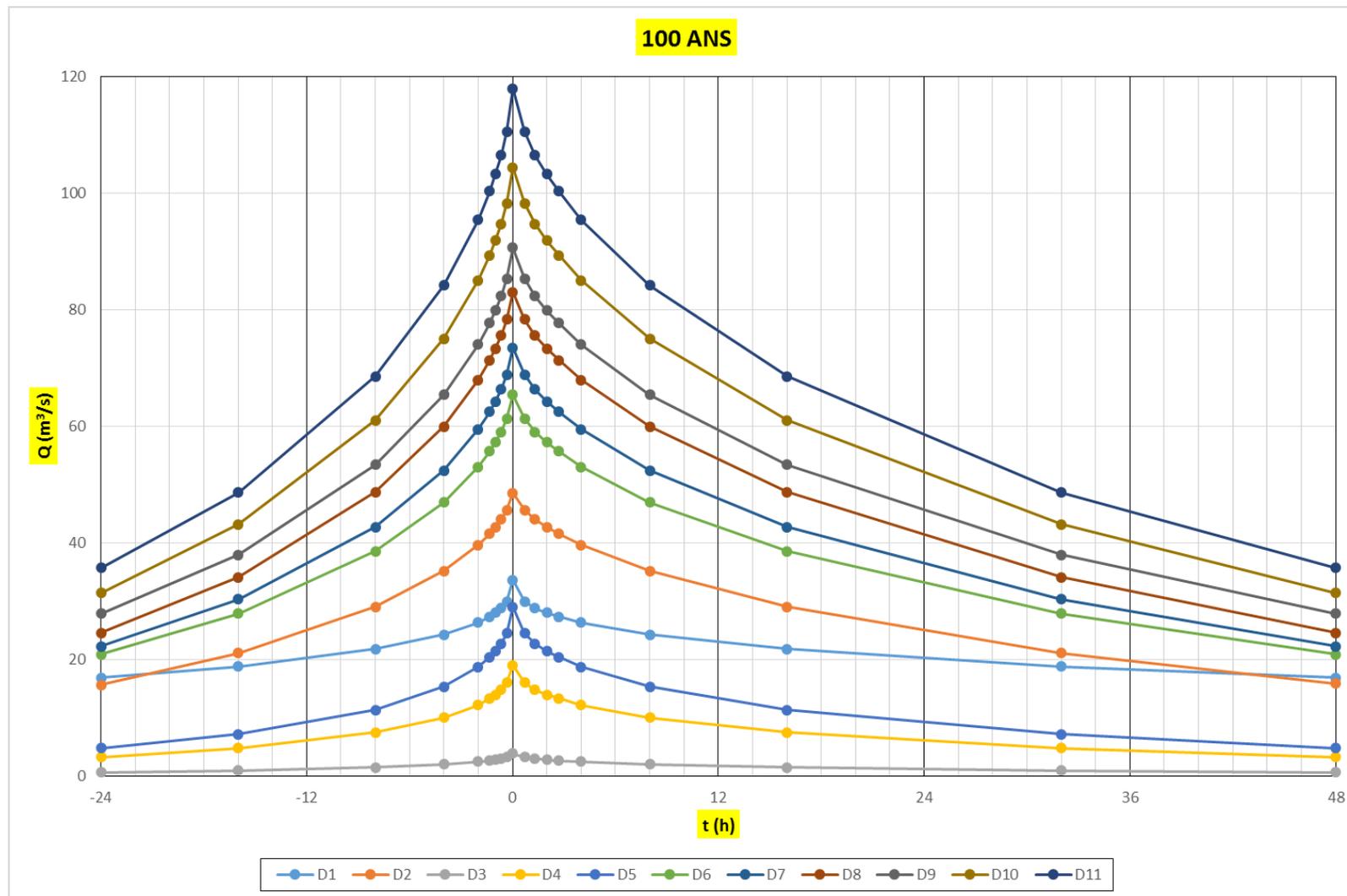


Figure 6 : hydrogrammes mono-fréquence 100 ans - bassin de la Deûle

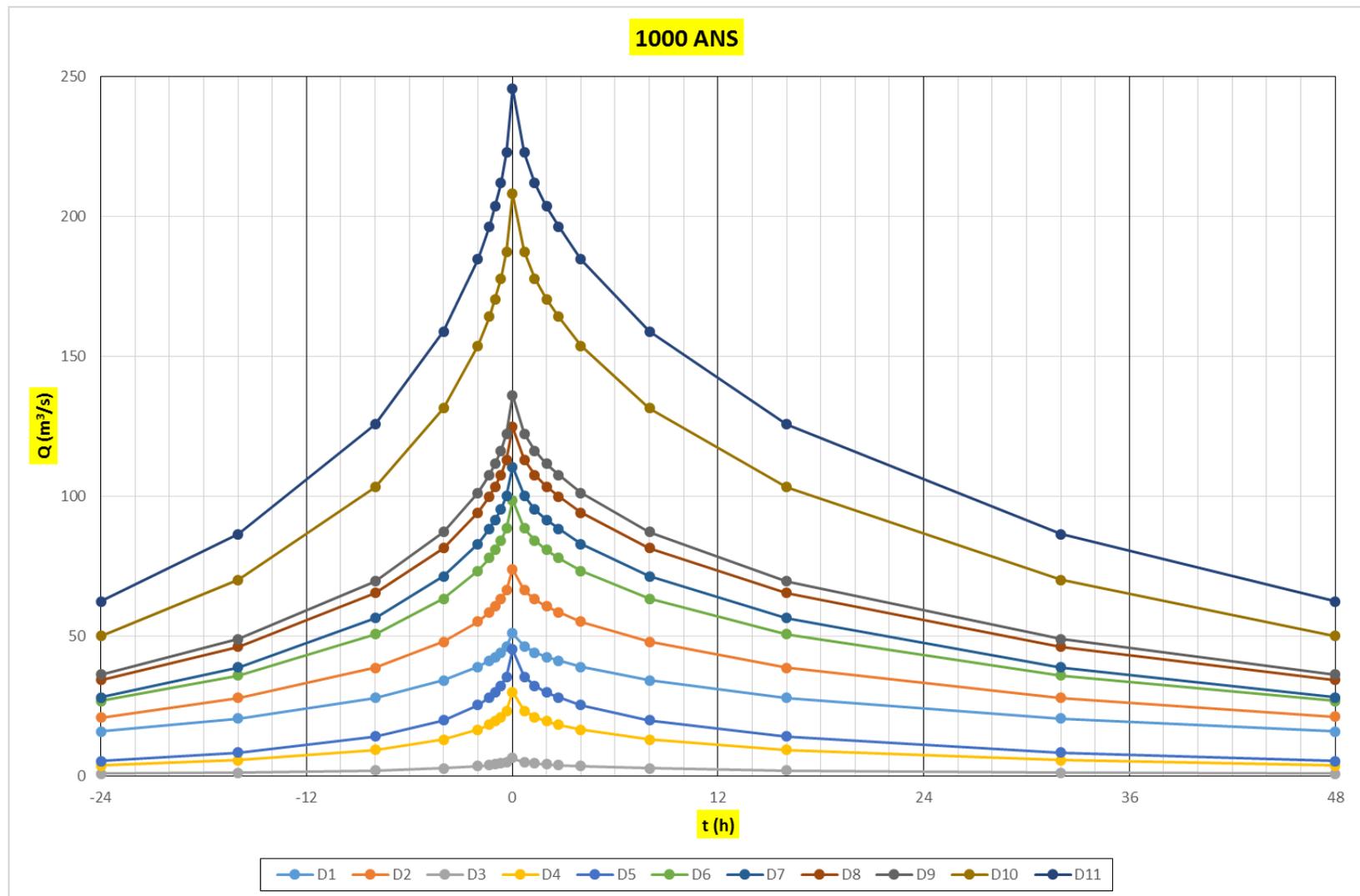


Figure 7 : hydrogrammes mono-fréquence 1000 ans - bassin de la Deule

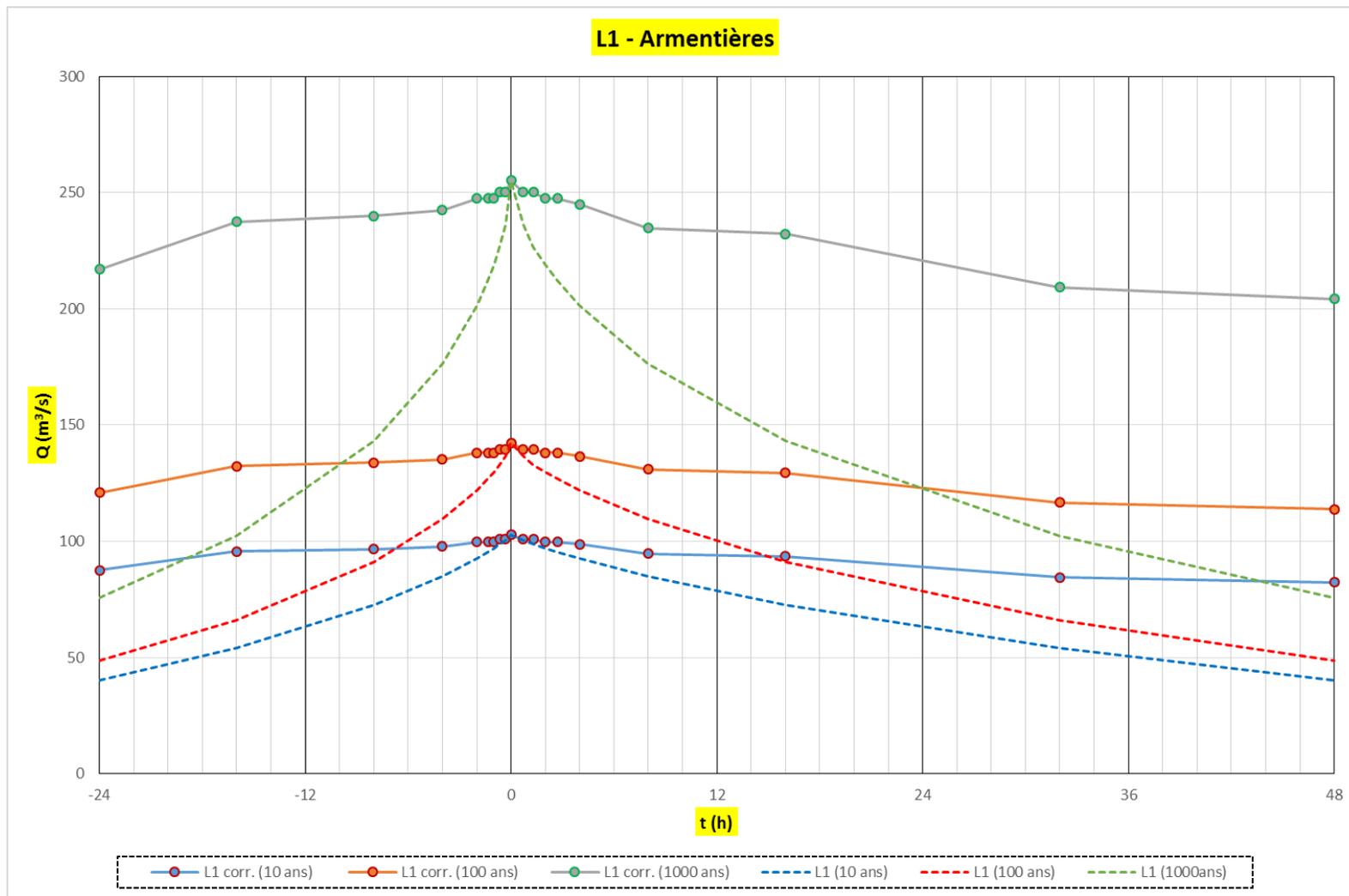


Figure 8 : hydrogrammes mono-fréquence 10, 100 et 1000 ans - bassin de la Lys

## Cas des situations non débordantes

Ce chapitre présente la modélisation simplifiée 1D lit mineur sur les TRI de Lille et Lens. Après avoir vérifié les modèles existants exploités par VNF, l'objectif est de déterminer quel scénario de crue (fréquent, moyen ou extrême) sera débordant et nécessitera une modélisation 2D afin de cartographier les zones inondables.

### 3.I Hypothèses de modélisation

En réunion de démarrage de la phase 4, le COPIL a décidé les hypothèses de modélisation suivantes :

- les apports des stations de relèvements ne sont pas pris en compte (négligeable par rapport aux débits en rivière) ;
- dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement fréquent est 10 ans, et entre 10 et 30 ans à l'aval des confluences ;
- dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement moyen est 100 ans, et entre 100 et 300 ans à l'aval des confluences ;
- dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement extrême est 1000 ans, et supérieur à 1000 ans à l'aval des confluences ;
- la localisation des conditions aux limites du modèle 1D seront les mêmes que celles du modèle 1D existant ;
- les ponts sont considérés transparents hydrauliquement ;
- les écluses sont considérées en configuration fermée ;
- les barrages sont considérées en configuration ouverte ;
- les prises d'eau sont fermées ;
- les digues sont fonctionnelles ;
- aucun échange de flux dans les interconnexions des bassins n'est pris en compte.
- les simulations seront effectuées en régime transitoire ;

- les hydrogrammes d'entrée du modèle 1D seront ceux issus de l'analyse hydrologique DHE mais horodatés par SAFEGE.

Afin de déterminer l'horloge des crues **la plus défavorable** avec des arrivées simultanées des pics de crue, SAFEGE a déterminé le moment de l'injection de chaque hydrogramme au cours des simulations.

Les temps de propagation ont tout d'abord été déterminés sur les modèles hydrauliques 1D avec pour hypothèse l'injection d'un débit de 50 m<sup>3</sup>/s en amont. Le moment d'arrivée du débit au niveau de chaque nœud de calcul est repéré et présenté dans le tableau ci-dessous.

Sources	Temps de propagation heure
d1 -> d2	6
d2 -> d6	1
d6 -> d7	non déterminé car influence limite aval
d7 -> d8	1
d8 -> d9	3
d9 -> d10	8
d10 -> d11	5
d11 -> L2	10
L2 -> L3	non déterminé car influence limite aval
d4 -> d5	2
d5 -> d6	2
L1 -> L2	3

Nous avons transmis cette première estimation des temps de propagation afin que DHE puisse nous fournir des hydrogrammes d'apports horodatés.

Ces hydrogrammes, nous ont été transmis le 05 Décembre 2013.

Dans une dernière étape, par itération sur les modèles hydrauliques 1D, nous avons affiné les temps de propagation afin d'obtenir les hydrogrammes d'apport finaux. Seuls les nœuds de calculs faisant l'objet d'une injection dans les modèles sont ici présentés.

Sources	Temps de propagation heure
d1 -> d2	6
d2 -> d6	1
d6 -> d7	3
d7 -> d8	1
d8 -> d9	1
d9 -> d10	2
d10 -> d11	13

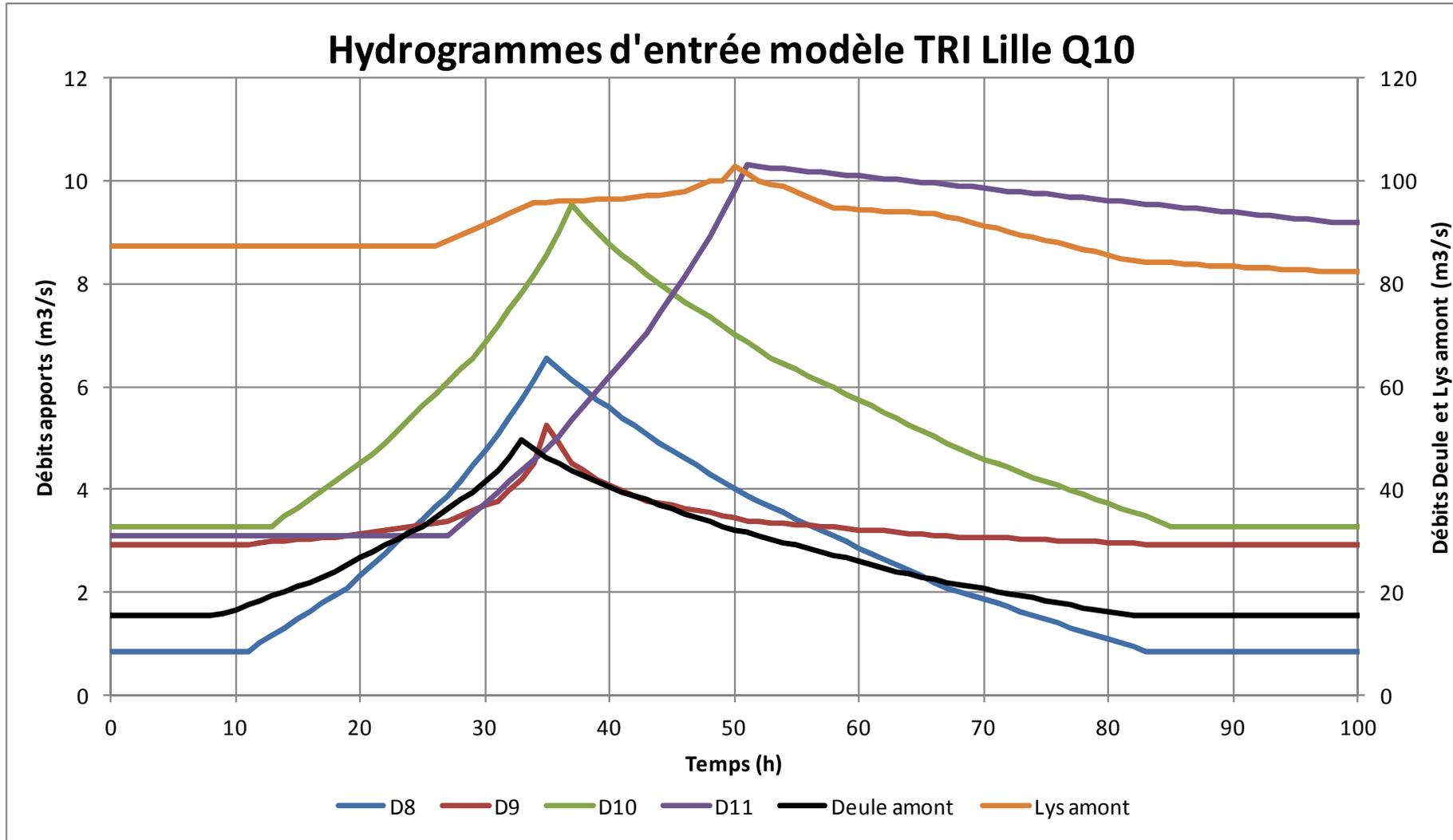


Figure 9 : TRI Lille : hydrogrammes d'entrée Q10

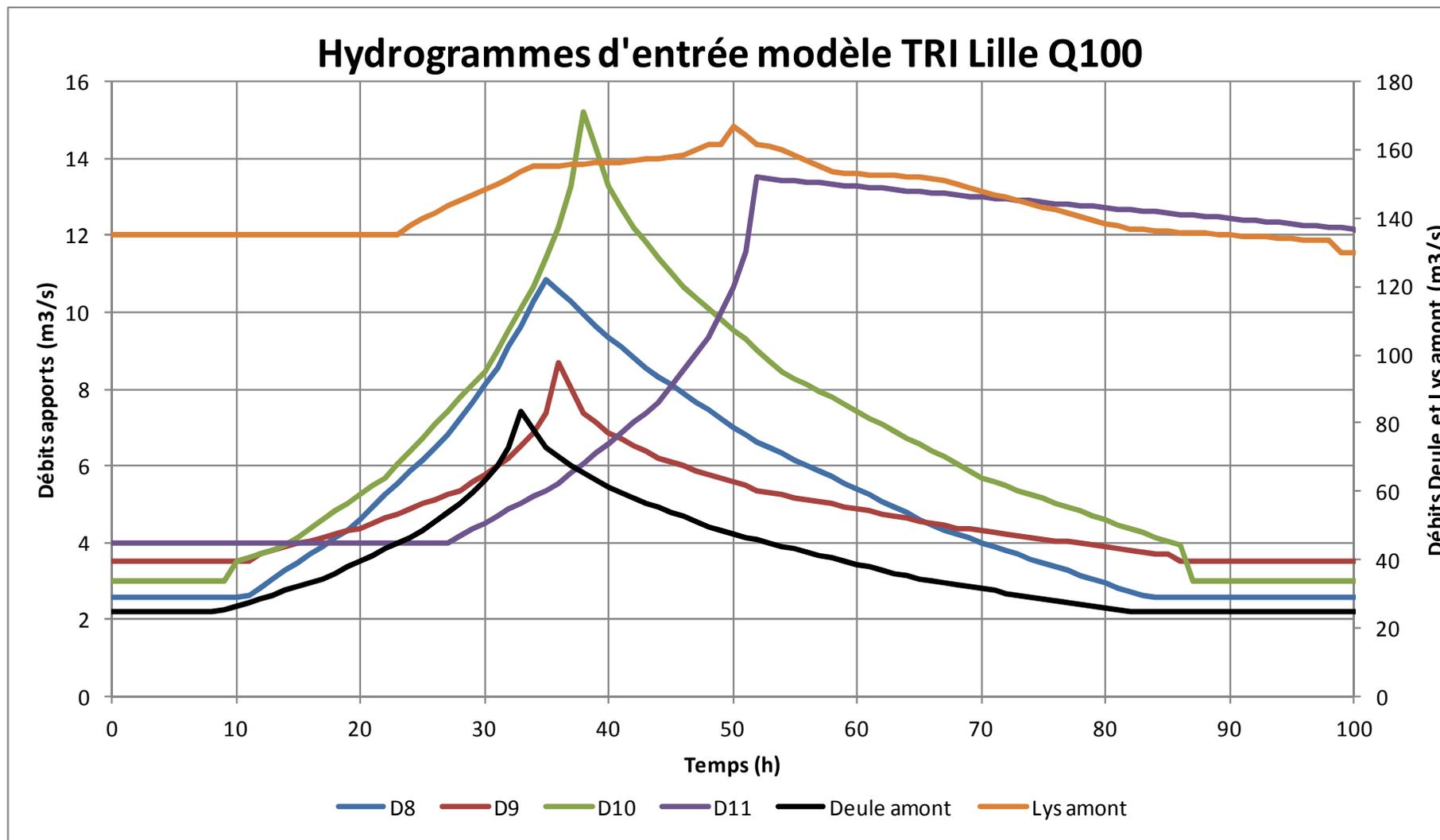


Figure 10 : TRI Lille : hydrogrammes d'entrée Q100

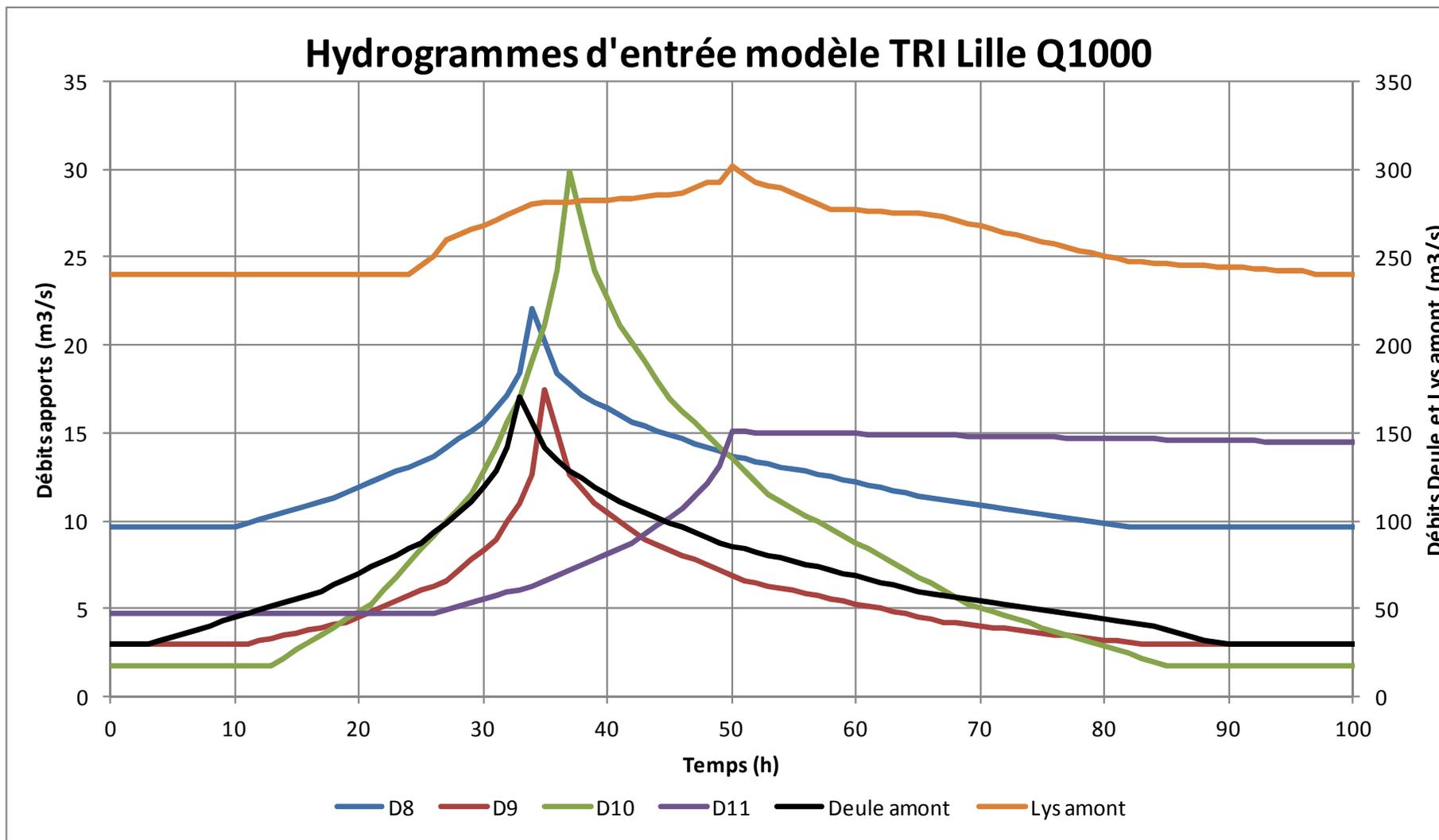


Figure 11 : TRI Lille : hydrogrammes d'entrée Q1000

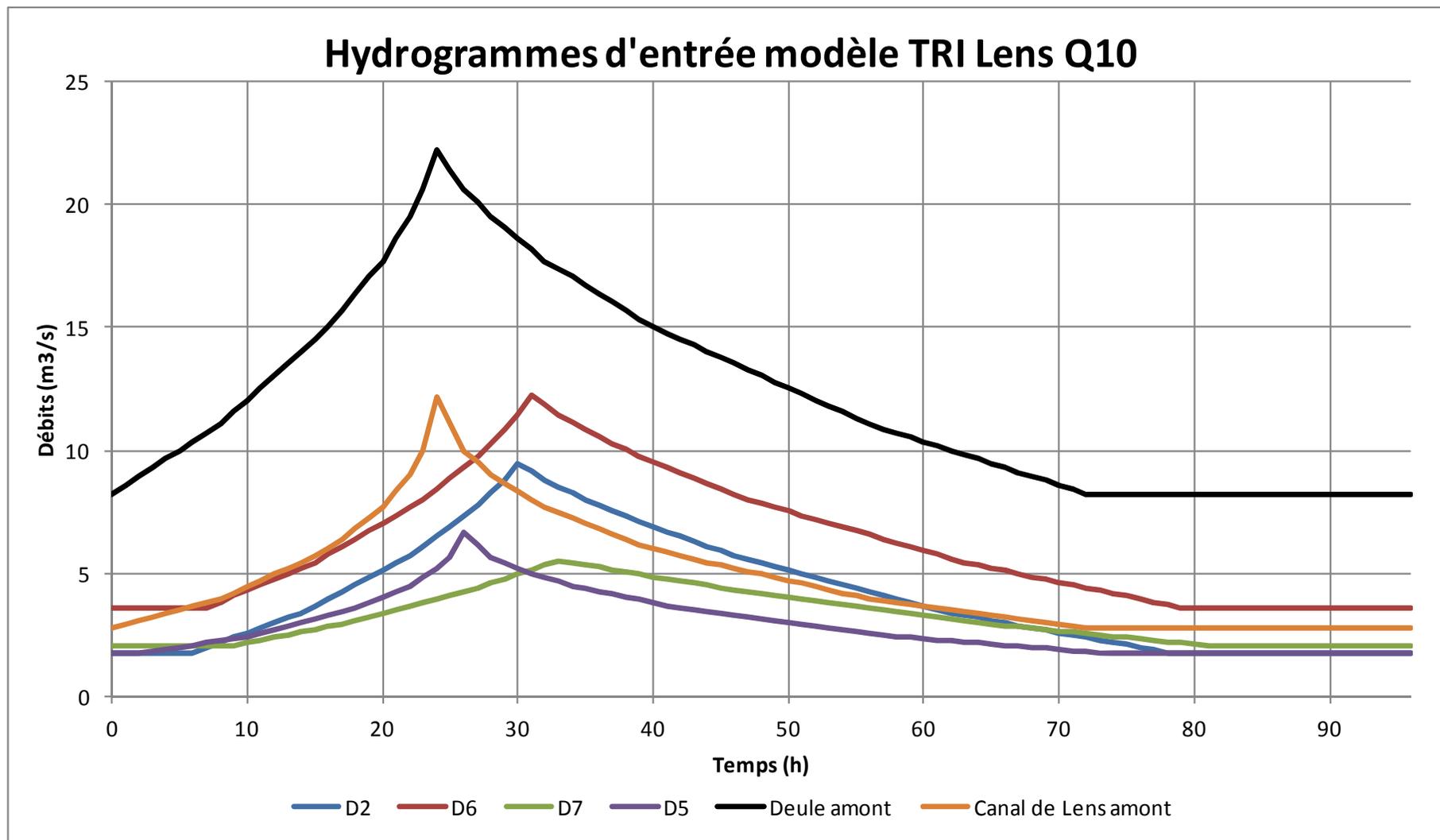


Figure 12 : TRI Lens : hydrogrammes d'entrée Q10

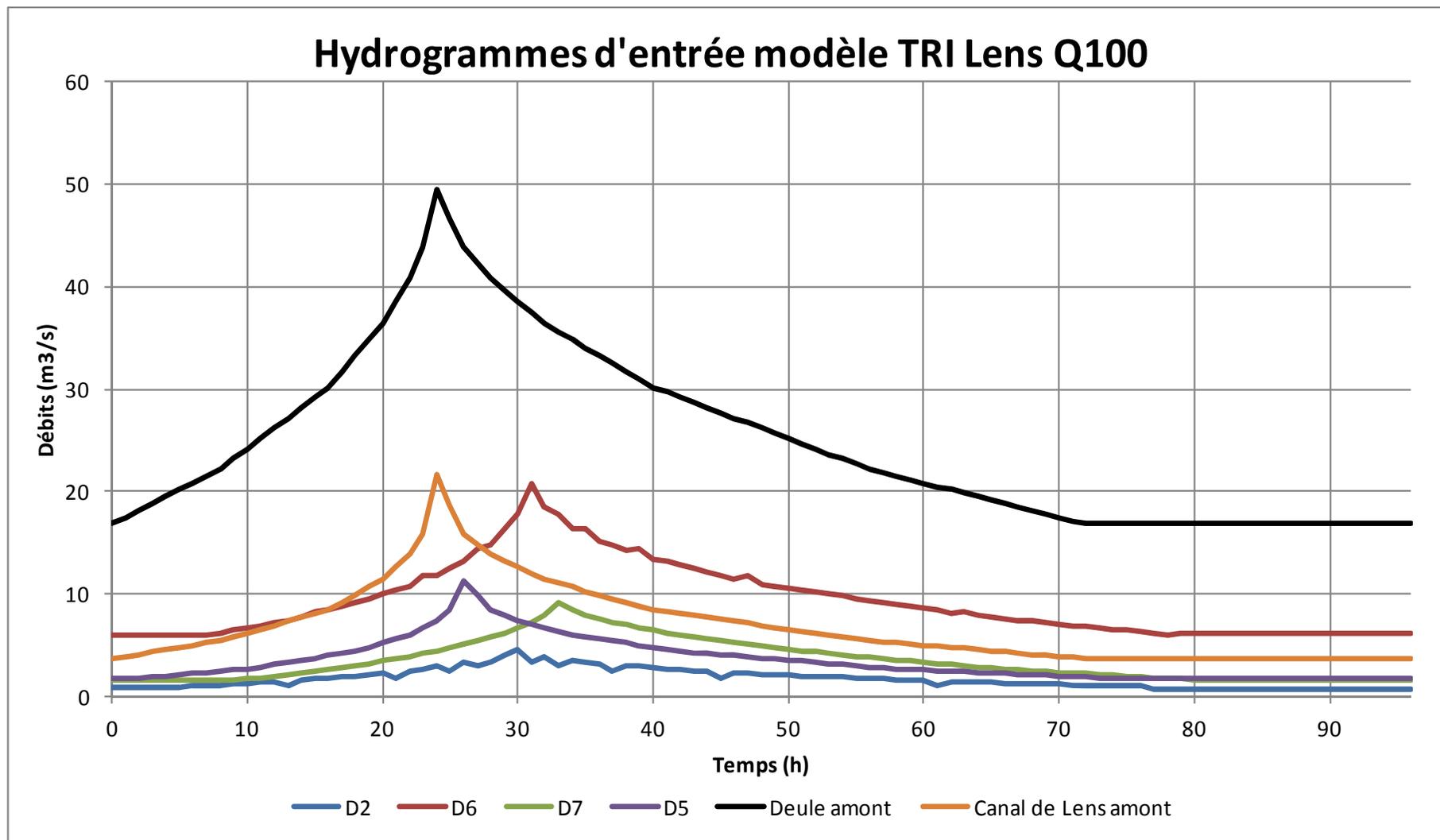


Figure 13 : TRI Lens : hydrogrammes d'entrée Q100

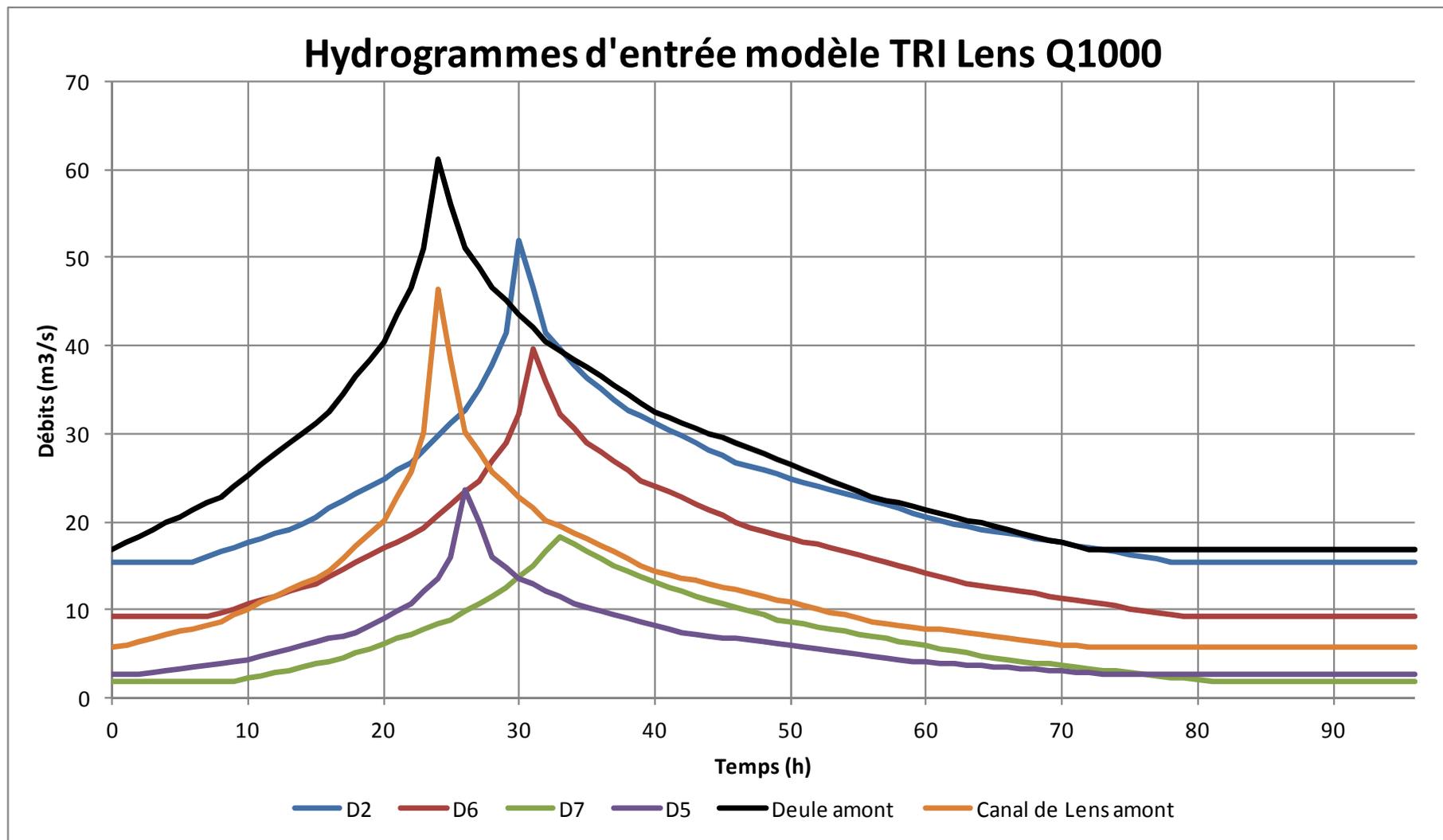


Figure 14 : TRI Lens : hydrogrammes d'entrée Q1000

Remarque : aucune injection au point L2 n'a été finalement définie dans l'analyse hydrologique de DHE à cause du choix de la gestion des confluences. En effet, le choix a été fait de considérer la synchronisation des pointes entre Deûle et Lys. Il s'agissait donc de s'assurer que ce type d'hypothèses ne crée pas de dérives statistiques importantes en aval, et qu'on reste dans les textes de la transcription de la Directive Cadre Inondation qui fixe des gammes de périodes de retour de travail.

## 3.II Modèle hydraulique 1D sur le TRI de Lille

### 3.II.1 Présentation du modèle

Le modèle hydraulique sur le TRI de Lille nous a été transmis par VNF. Il a été développé par le Laboratoire Hydraulique Flamand, en collaboration avec VNF en 2009/2010, dans le but d'estimer l'impact hydraulique de l'élargissement de la Lys Mitoyenne et l'élargissement du bief Quesnoy-Deulémont.

Un total de 3 rapports nous a été transmis par VNF concernant le modèle hydraulique :

- sous-rapport 1 : élaboration et calage du modèle hydrodynamique ;
- sous-rapport 2 : scénario et analyses ;
- sous-rapport 3 : scénario et analyses complémentaires ;

Le sous-rapport 1 était le plus intéressant pour notre étude car il présente :

- le fonctionnement hydraulique général des parties belge et française ;
- une description détaillée du modèle et des cours d'eau ;
- les résultats du calage.

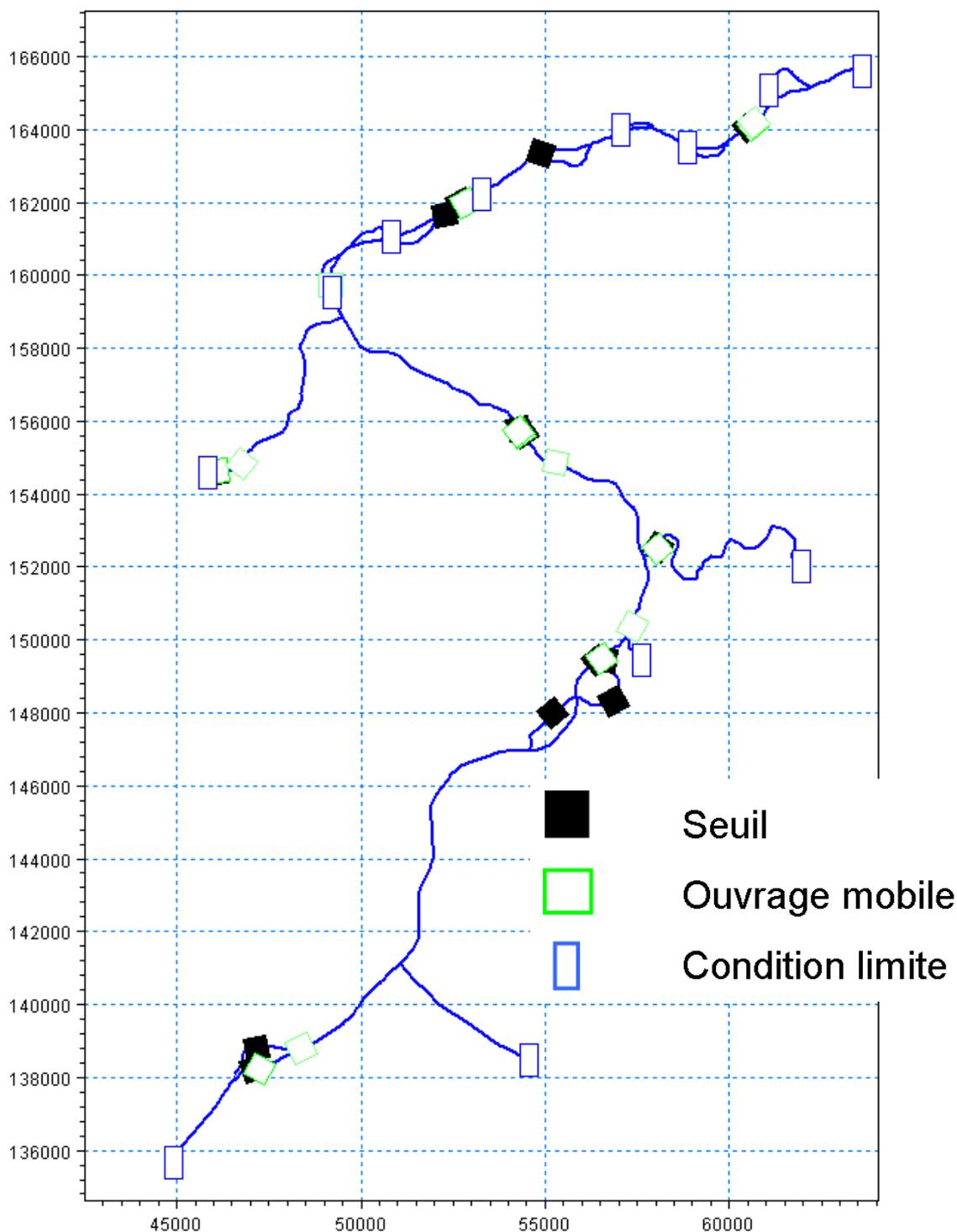
Depuis Don jusque Menin, le modèle hydraulique couvre la Deûle, la Lys depuis Armentières, la Marque depuis l'écluse de Marquette et le canal de Seclin.

Le réseau hydrographique est découpé en 25 biefs, soit un linéaire total proche de 91km. Un total de plus de 2000 sections en travers décrit la géométrie des cours d'eau.

Les ouvrages hydrauliques inclus dans le modèle sont au nombre de 31 (14 seuils et 21 ouvrages mobiles).

Le jeu de fichiers nous permet de vérifier les résultats pour trois crues (de faible période de retour) :

- Décembre 2005 ;
- Février 2007 ;
- Juillet 2007.



Type	Nom	Commentaires	
Fichiers de simulation	S0-NGF-dec-2005.sim11	paramètres de simulation du 23/11/2005 au 20/12/2005, pas de temps : 5min, hotstart 23/11/2005 14:00:	
	S0-NGF-FEB-2007.sim11	paramètres de simulation du 06/02/2007 au 19/03/2007, pas de temps : 5min, hotstart 23/11/2005 14:00:	
	S0-NGF-JULI-2007.sim11	paramètres de simulation du 19/07/2007 au 04/08/2007, pas de temps : 5min, hotstart 23/11/2005 14:00:	
Fichier de conditions limites	measured-boundaries.bnd11	<b>Débits amont</b>	<b>Cote aval</b>
		BRAS_DE_LA_MADELEINE pk 0	Leie pk 60 000
		CANAL_DE_ROUBAIX pk 0 (Marquette)	
		CANAL_DE_SECLIN pk 0	
		DEULE pk 0 (Don)	
LYS-2 pk 0 (Armentières)			
Fichiers de series temporelles	H_Menem-3km-DS.dfs0	Niveaux d'eau à Menin de 2005 à 2008	
	Q-measured.dfs0	Débits à Don, Armentières et Marquette de 2005 à 2008	
	working_menem-NGF.dfs0	Ouverture de l'écluse de Menin de 1980 à 2100	
	RUNOFF_ungauged-basins.dfs0	Débits latéraux des bassins Don-Carré, Lille, Menin	
Fichier de paramètres HD	leie-S0-NGF.HD11	Coefficient de rugosité Manning (entre 0.02 et 0.1), paramètres numériques	
Fichiers de résultats	dec-2005.res11	Résultats de simulation VNF du 23/11/2005 au 20/12/2005	
	FEB-2007.res11	Résultats de simulation VNF du 06/02/2007 au 19/03/2007	
	JUL-2007.res11	Résultats de simulation VNF du 19/07/2007 au 04/08/2007	
	HOT.res11	Conditions initiales en débit et hauteur d'eau	

## 3.II.2 Vérification du modèle

### 3.II.2.1 Les sections en travers

Les sections en travers présentes dans le modèle sont très nombreuses. En raison des délais courts d'exécution de l'étude, nous n'avons pas procédé à la vérification de toutes les sections.

Nous avons reçu de la part de VNF les données bathymétriques sur toutes les voies navigables de notre zone d'étude.

Ainsi, après avoir traité les données bathymétriques sous ArcGIS (transformation des points XYZ en raster de pixel 1 m<sup>2</sup> par interpolation – méthode des voisins naturels), et après avoir intégré ces rasters de bathymétrie au lit majeur (données Lidar CG 59 décrites en phase 2), nous avons pu comparer quelques sections en travers du modèle hydraulique 1D avec celles issues du MNT intégrant la bathymétrie et Lidar.

Quelques exemples de comparaisons sont présentés sur les figures ci-après.

Le bilan que l'on peut faire sur la comparaison entre les différentes géométries des sections en travers du modèle hydraulique 1D avec celles issues du MNT intégrant la bathymétrie et Lidar sont les suivantes :

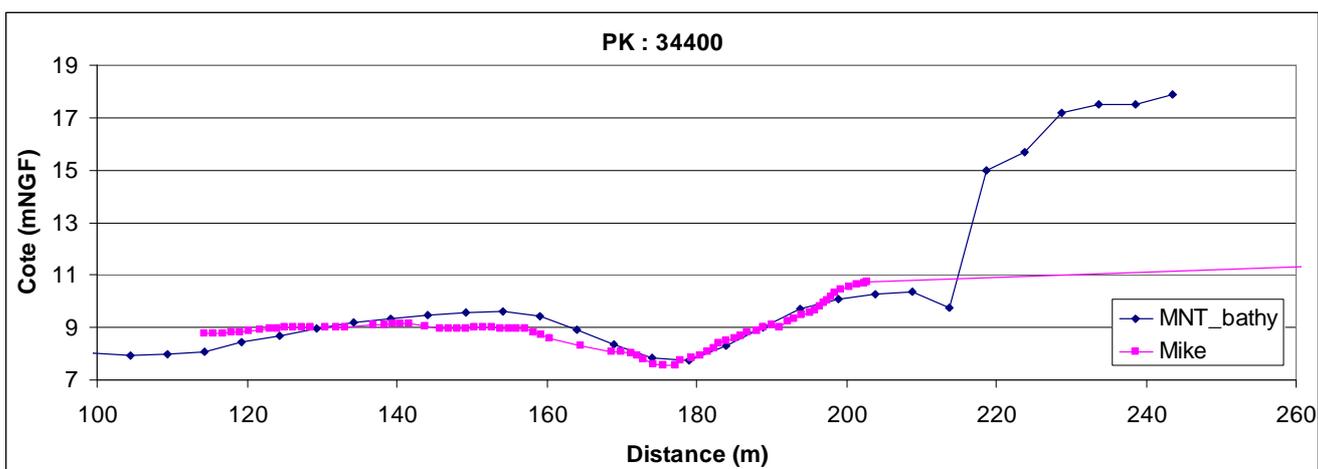
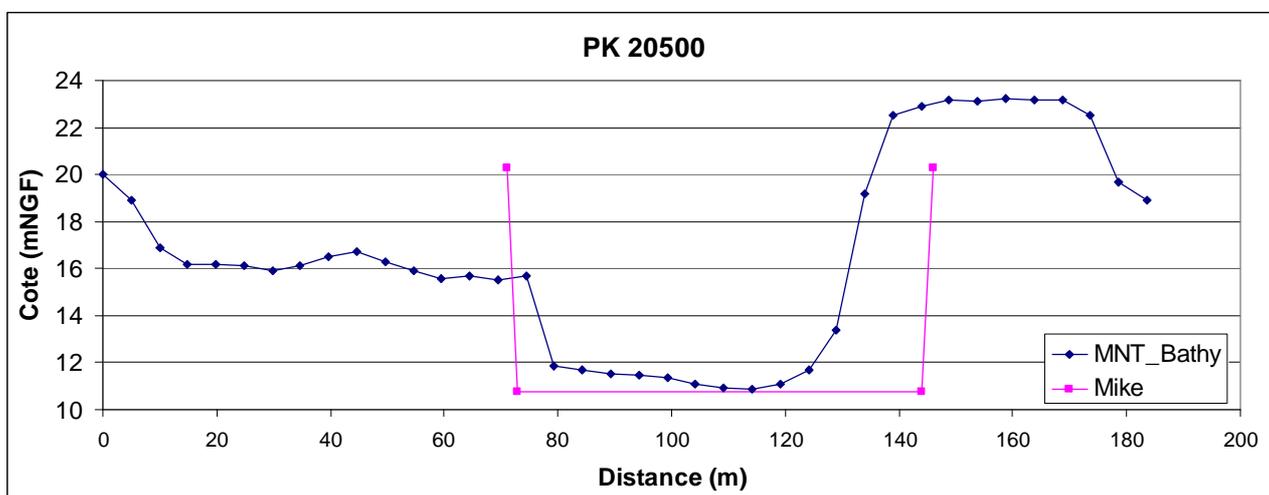
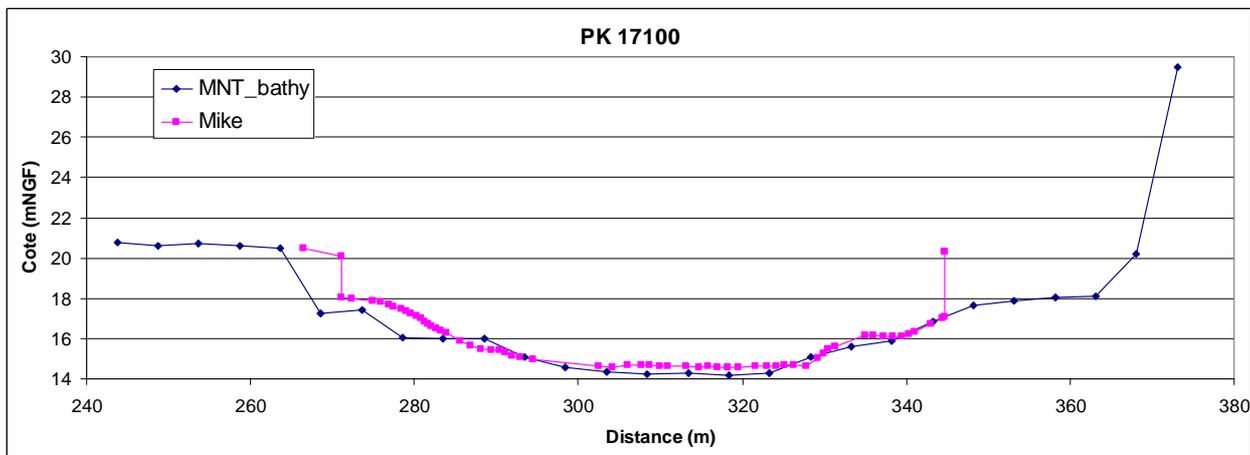
- la profondeur et la largeur du lit mineur sont cohérentes (différences maximum de quelques mètres) ;
- les cotes de berges varient parfois de quelques mètres, ce qui n'est pas très satisfaisant.

Après avoir discuté de ces écarts avec VNF, l'explication donnée est la différence de sources de données entre le moment de construction du modèle hydraulique et maintenant, à savoir :

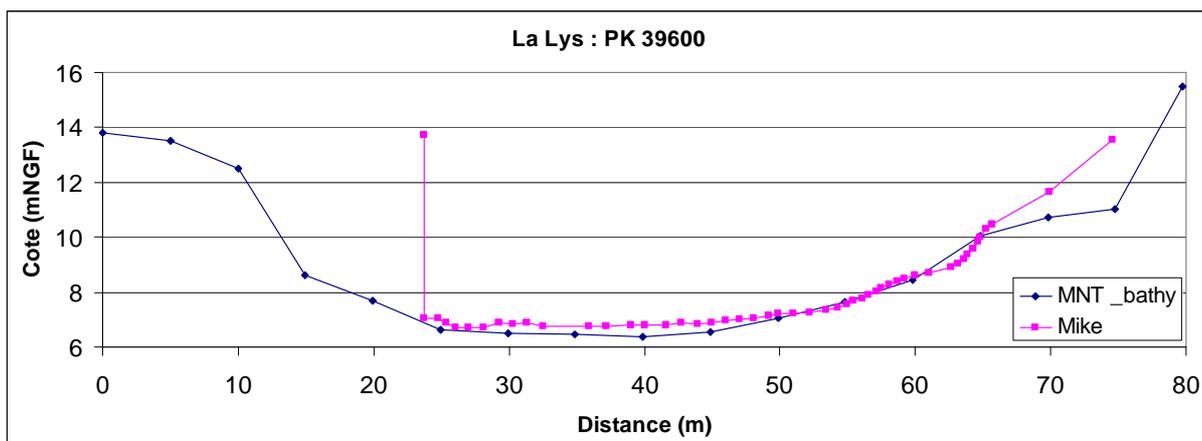
- l'absence de données Lidar au moment de la construction du modèle hydraulique 1D ;
- les levés bathymétriques ne datent pas de la même année et étaient incomplets, des hypothèses de simplifications avaient été prises.

Il ne semble donc pas y avoir d'erreur dans la construction du modèle hydraulique 1D, néanmoins des différences parfois importantes existent entre les sections du modèle hydraulique et les nouvelles données topographiques et bathymétriques disponibles. Il serait intéressant que VNF mette à jour les sections en travers du modèle hydraulique 1D avec les derniers levés bathymétriques et Lidar.

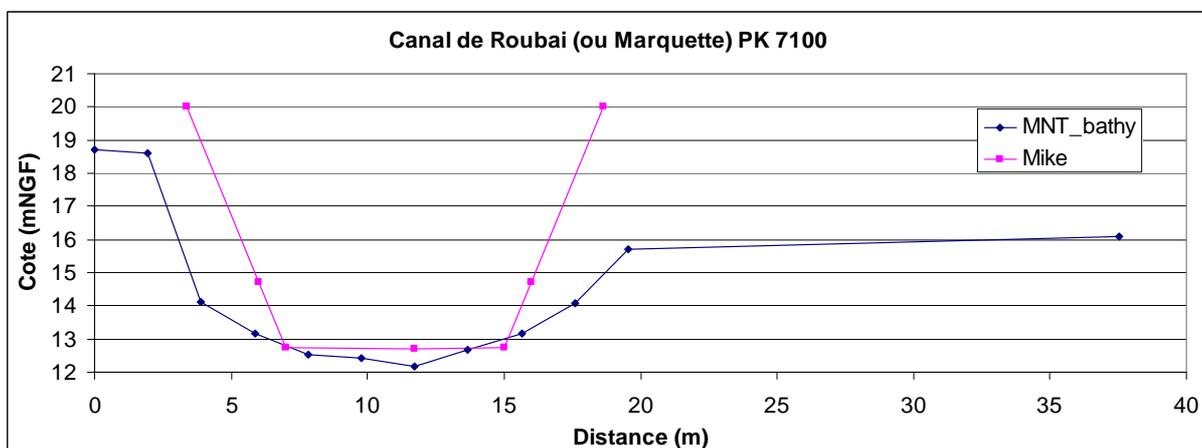
Profils en travers sur la Deûle



## Profil en travers sur la Lys



## Profil en travers sur la Marquette



### 3.II.2.2 Les biefs

On dénombre au total 25 tronçons décrits dans le modèle hydraulique Mike 11, avec un linéaire total de 91 275 m. Ces tronçons constituent les biefs suivants :

- la Deûle (de l'amont de l'écluse de Don à la confluence avec la Lys) sur 34 400 m ;
- la Lys (de l'écluse d'Armentières jusqu'à l'aval de l'écluse de Ménin) sur 24 240 m ;
- le bras de la Madeleine sur 710 m ;
- le vieux bras de l'écluse de Don sur 2000 m ;
- le canal de Séclin sur 4430 m ;
- le bras de Canteleu sur 2100 m ;

- le canal de Roubaix (de la confluence avec la Marque jusqu'à la confluence avec la Deûle) sur 7500 m;
- le bras de la Barre sur 2400 m ;
- les 8 bras délaissés de la Lys entre 950 m et 1900 m de linéaire chacun ;
- le bras de l'écluse du Grand Carré sur 230 m;
- le bras de l'écluse de Quesnoy sur 184 m;
- le bras de l'écluse des Comines sur 400 m;
- le bras de l'écluse d'Armentières sur 330 m;
- le bras de l'écluse de Ménin sur 450 m;
- le bras de l'écluse de Marquette sur 115 m.

Les biefs sont correctement entrés dans le modèle, le linéaire est cohérent avec celui qu'on peut mesurer sur SIG, les biefs sont correctement connectés entre eux.

Les coefficients de rugosité, caractérisant la résistance du bief au flux en fonction de la nature du lit mineur, sont quantifiés en coefficient de Manning (m). Ce coefficient est généralement utilisé dans les pays anglo-saxons, nous raisonnons généralement avec le coefficient de Strickler (K) en France. Il existe une relation inverse entre les coefficients :  $m=1/K$ . Ces coefficients de rugosité servent de variable d'ajustement au moment du calage du modèle hydraulique. En Strickler, ces coefficients pour chacun des biefs sont les suivants :

- Bras de la Barre : 35 ;
- Bras de Canteleu : 35 ;
- Bras de la Madeleine : 35 ;
- Canal de Roubaix : 35 ;
- Canal de Seclin : 35 ;
- Deûle : 35 sur les 28 premiers kms, 45 sur les 6 derniers kms ;
- le bras de l'écluse d'Armentières : 35 ;
- le bras de l'écluse des Comines : 35 ;
- le bras de l'écluse de Don : 35 ;
- le bras de l'écluse de Grand Carré : 35 ;
- le bras de l'écluse de Ménin : 35 ;
- le bras de l'écluse de Quesnoy : 35 ;

- la Lys : de la confluence avec la Deûle jusqu'à l'écluse des Comines 45, à l'amont de la confluence avec la Deûle 35, à l'aval de l'écluse des Comines 35 ;
- les bras délaissés de la Lys : 35 ;
- le vieux bras de l'écluse de Don : 35.

Ces valeurs de coefficient de Strickler entre 35 et 45 sont traditionnellement utilisées sur notre territoire pour des rivières moyennes à fond de graviers ou sables et dont les pentes sont faibles.

### **3.II.2.3 Les ouvrages**

Le modèle inclut les 8 écluses/barrages suivants :

- Don ;
- Grand-Carré ;
- Quesnoy ;
- Comines ;
- Ménin ;
- Marquettes ;
- Armentières ;
- Barre.

La gestion de ces 8 écluses/barrage est assez complexe et représentée dans le modèle hydraulique par des ouvrages régulés (« control structure ») et des ouvrages fixes (« weir »). Il nous est impossible de vérifier en détail ces lois de gestion des organes mobiles. Néanmoins, nous disposons des dossiers d'ouvrage pour Don, Grand Carré et Quesnoy, transmis par VNF en phase 1 de l'étude. La géométrie de ces 3 barrages/écluses du modèle est cohérente avec celle des dossiers d'ouvrages. Nous ne pouvons vérifier les 5 autres écluses/barrages faute de données.

Le modèle inclus les 3 ponts suivants :

- pont de la D933 sur le bras de Canteleu ;
- pont sur le bras délaissé de la Lys en amont de l'écluse des Comines ;
- pont sur le bras délaissé de la Lys en aval de l'écluse des Comines ;

Ces trois ponts modélisés en tant que « weir » dans le modèle correspondent à des sections de contrôle sur le bras du Canteleu ou des délaissés de la Lys. Nous ne comprenons pas pourquoi seuls ces 3 ponts sont présents dans le modèle. Nous ne disposons pas des plans de ces ouvrages, mais leurs géométries dans le modèle

hydraulique semblent cohérentes avec celles observées sur le terrain et Google Street View.

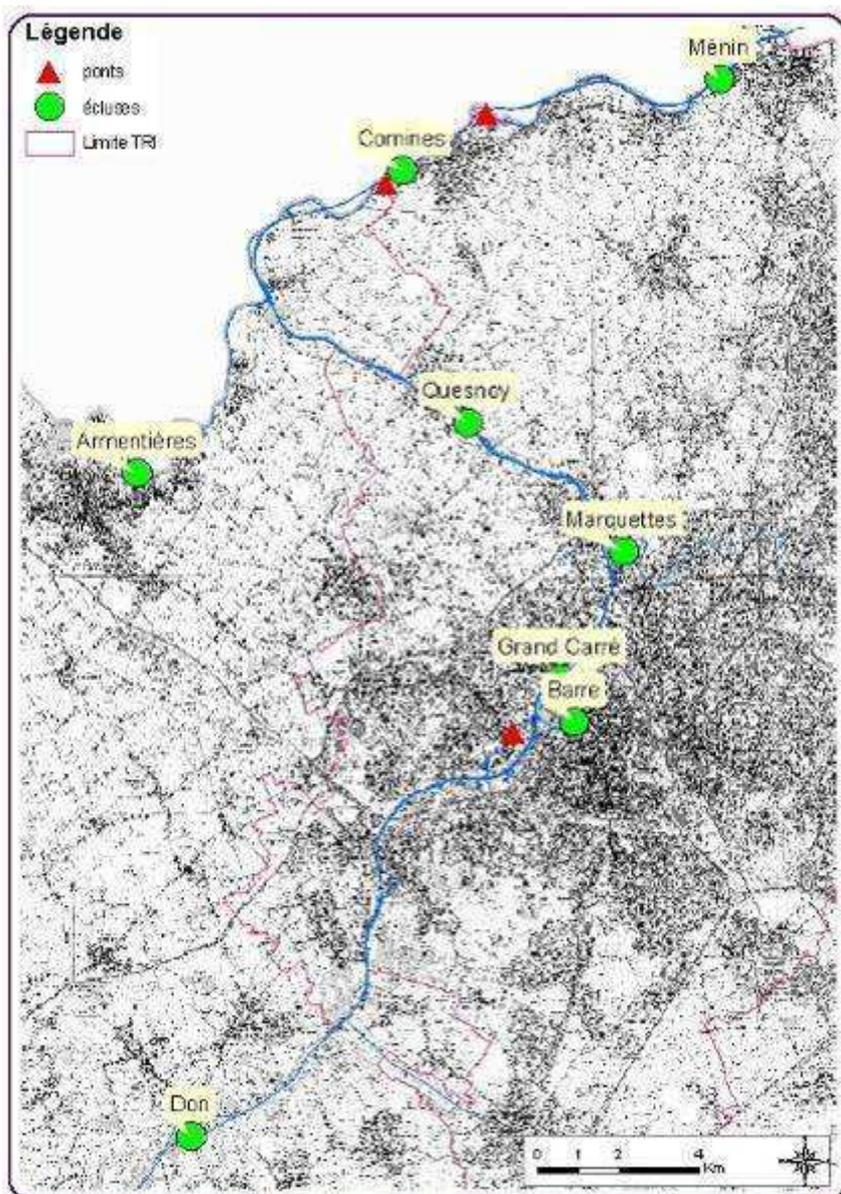


Figure 15 : localisation des ouvrages hydrauliques dans le modèle 1D

### 3.II.2.4 Les conditions initiales

Les initialisations des conditions initiales de la modélisation sont souvent considérées comme des astuces de modélisateurs et sont difficiles à vérifier.

On remarque pour le modèle hydraulique sur Lille la présence d'initialisation via le fichier de paramètres hydrodynamiques et via un fichier « hotstart ». Traditionnellement, un seul fichier d'entrée des conditions initiales suffit, cela n'influence pas les résultats et permet de stabiliser le modèle à  $t_0$ .

Les débits initiaux injectés sont les suivants :

- Bras de Canteleu : 0 ;
- Bras de la Barre : 0 ;
- Bras de la Madeleine : entre 0 et 0.2 m<sup>3</sup>/s
- Canal de Roubaix : entre 2.45 et 2.53 m<sup>3</sup>/s ;
- Canal de Seclin : 0.2 m<sup>3</sup>/s ;
- Deûle : entre 0 et 6.59 m<sup>3</sup>/s ;
- le bras de l'écluse d'Armentières : 0 ;
- le bras de l'écluse des Comines 6.98 m<sup>3</sup>/s ;
- le bras de l'écluse de Don : entre 3.27 et 3.31 m<sup>3</sup>/s ;
- le bras de l'écluse de Grand Carré : entre 4.15 et 4.17 m<sup>3</sup>/s ;
- le bras de l'écluse de Ménin : entre 6.96 et 6.98 m<sup>3</sup>/s ;
- le bras de l'écluse de Quesnoy : 0 ;
- la Lys : entre 0 et 7.08 m<sup>3</sup>/s ;
- les bras délaissés de la Lys : entre 0 et 3.31 m<sup>3</sup>/s ;
- le vieux bras de l'écluse de Don : 0.

### **3.II.2.5 Les conditions aux limites**

A chacune des limites du modèle hydraulique, un débit est injecté ou un niveau d'eau est associé.

Ainsi, pour le modèle hydraulique de Lille, les conditions aux limites sont les suivantes :

- Bras de la Madeleine : 0.2 m<sup>3</sup>/s
- Canal de Roubaix : les débits enregistrés à l'écluse de Marquette ;
- Canal de Seclin : 0.2 m<sup>3</sup>/s ;
- Deûle : les débits enregistrés à l'écluse de la Don ;
- la Lys aval : les niveaux d'eau enregistrés à l'aval de l'écluse de Ménin ;
- la Lys amont : les débits enregistrés à l'écluse d'Armentières;
- les bras délaissés de la Lys : 0 m<sup>3</sup>/s.

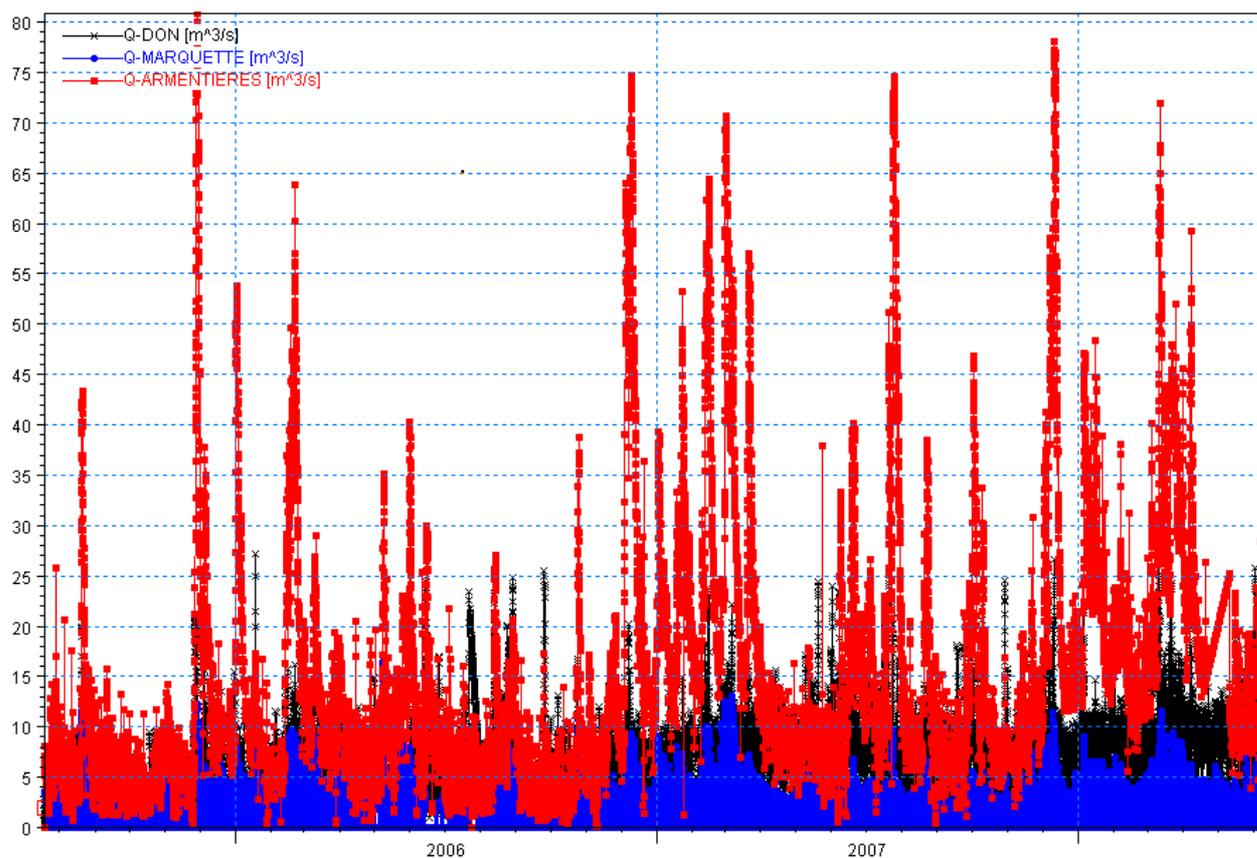


Figure 16 : débits mesurés aux stations de Marquette, Don et Armentières

En plus des débits injectés aux conditions limites, des apports latéraux sont ajoutés. Ces apports sont distribués le long de la Deûle et de la Lys. Nous n'avons aucune information sur l'origine de ces apports et la manière dont ils ont été générés. Ils pourraient avoir été créés au moment du calage du modèle, afin de représenter les débits intermédiaires des affluents ainsi que les rejets des eaux pluviales. En valeurs instantanées, ces apports varient de 0 à 74.2 m<sup>3</sup>/s, la moyenne entre 2005 et 2007 est de 2.5 m<sup>3</sup>/s.

### 3.II.2.6 Les paramètres numériques

Le logiciel Mike 11 résout les équations de St-Venant, et utilise dans son schéma de résolution différents paramètres numériques. Généralement, les valeurs par défaut de ces paramètres sont utilisées. Mais on note que ces paramètres numériques ont été modifiés, avec des valeurs assez inhabituelles, principalement le paramètre « delta » dont la valeur (comprise entre 0 et 1) est à 0.85 (par défaut 0.5). Le delta a sans doute été augmenté afin de stabiliser le modèle, cette méthode masque les instabilités au lieu de les résoudre et a pour conséquence une augmentation de la précision des calculs.

### 3.II.2.7 Validation des scenarii de calage

Afin de s'affranchir de différents doutes, comme par exemple celui d'une différence dans les résultats, due à la version du logiciel utilisé, il convient d'effectuer des simulations test. VNF nous a transmis des fichiers de paramètres de simulations et de résultats pour les 3 crues de calage suivantes :

- Décembre 2005 ;
- Février 2007 ;
- Juillet 2007.

Pour ces trois crues, sans modifier aucun fichier, nous avons refait tourner les simulations et comparé les résultats (lignes d'eau et débits calculés en chacun des points).

On observe des différences sur lignes d'eau de quelques centimètres :

- Décembre 2005 : entre 0 et 11 cm ;
- Février 2007 : entre 0 et 10 cm ;
- Juillet 2007 : entre 0 et 6 cm.

Nous n'expliquons pas ces différences, la raison la plus probable est la mauvaise correspondance entre les fichiers résultats et les fichiers de modélisation.

Toutefois, l'écart maximal est de 11 cm sur les cotes, cette différence est relativement proche des écarts obtenus lors du calage du modèle par le Laboratoire Hydraulique Flamand. Nous ne disposons pas des incertitudes exactes du calage du modèle mais seulement des graphiques en format pdf issus du rapport 1 (Mars 2009). Voici un exemple des résultats de calage au niveau de l'écluse de Don pour les 3 évènements :

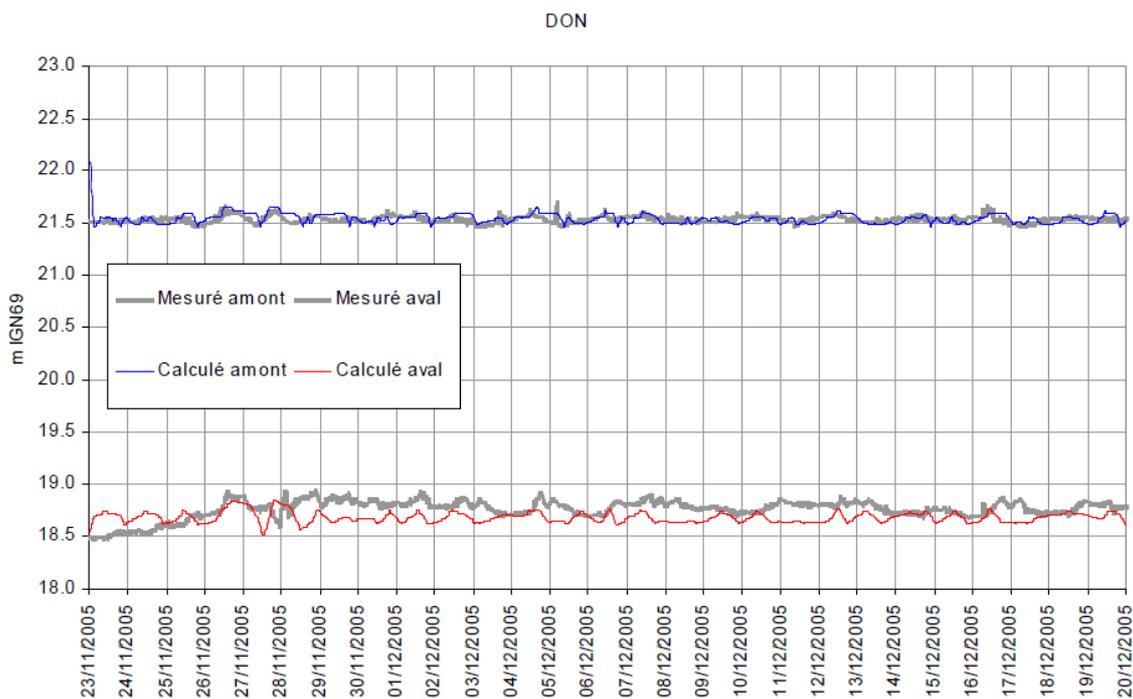


Figure 17 : résultats du calage au niveau de l'écluse de Don – Décembre 2005 (Laboratoire Hydraulique Flamand, Mars 2009)

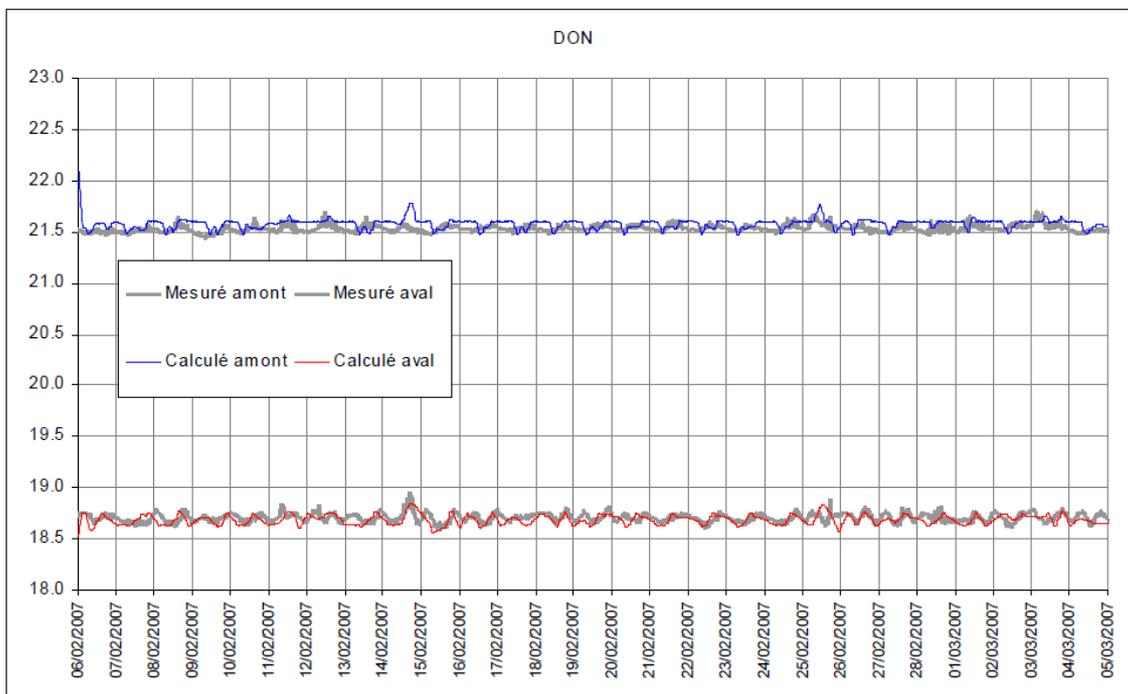


Figure 18 : résultats du calage au niveau de l'écluse de Don – Février 2007 (Laboratoire Hydraulique Flamand, Mars 2009)

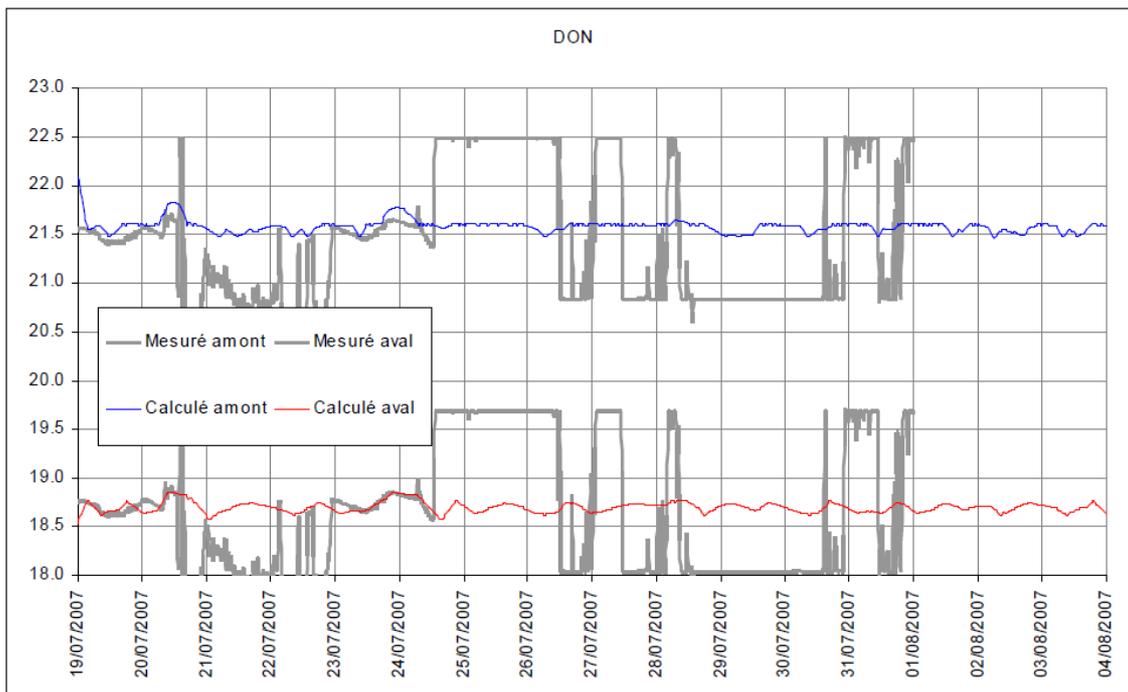


Figure 19 : résultats du calage au niveau de l'écluse de Don – Juillet 2007 (Laboratoire Hydraulique Flamand, Mars 2009)

### 3.II.2.8 Conclusions

Le modèle hydraulique sur le TRI de Lille fourni par VNF à SAFEGE est de qualité suffisante pour être exploité dans la présente étude.

On notera néanmoins que le modèle n'a pas été mis à jour avec la récente topographie issue de levés Lidar et les différences existant entre les fichiers résultats et les fichiers de simulations disponibles.

### 3.II.3 Exploitation du modèle 1D pour des événements fréquent, moyen et extrême

Les hydrogrammes de crue et d'apport de crue décennale ont été injectés dans le modèle 1D.

On observe très localement de légers débordements.

Ainsi, pour des événements fréquent, moyen et extrême, la stratégie de modélisation utilisée est le modèle 2D pour la cartographie des zones inondables.

### 3.III Modèle hydraulique 1D sur le TRI de Lens

#### 3.III.1 Présentation du modèle

VNF nous a transmis deux modèles hydrauliques sur le TRI de Lens, qu'ils ont développés en 2013. L'unique différence entre les deux modèles est la configuration de l'écluse de Don.

Le premier modèle, a servi de calage pour une gestion normale des cours d'eau du 13 au 15 Juin 2006, la configuration de l'écluse de Don est « actuelle », c'est-à-dire une gestion manuelle des siphons.

Le second modèle a servi pour effectuer les tests de débordements Q10, Q100 et Q1000. La configuration de l'écluse de Don est « état futur » (2014), c'est-à-dire une gestion automatique des siphons.

Depuis Douai jusque Don, le modèle hydraulique couvre la Deûle, le canal d'Aire jusqu'à l'écluse de Cuinchy, le canal de Lens (sans la Souchez), la Scarpe depuis l'écluse des Augustins et la Scarpe depuis l'écluse de Fort de Scarpe.

Le réseau hydrographique est découpé en 6 biefs, soit un linéaire total proche de 52 km. Un total de plus de 500 sections en travers décrit la géométrie des cours d'eau.

Un seul ouvrage hydraulique est inclus dans le modèle : l'écluse de Don (trois siphons).

Le jeu de fichiers nous permet de vérifier les résultats pour une crue (non débordante mais bien instrumentée) : Juin 2006.

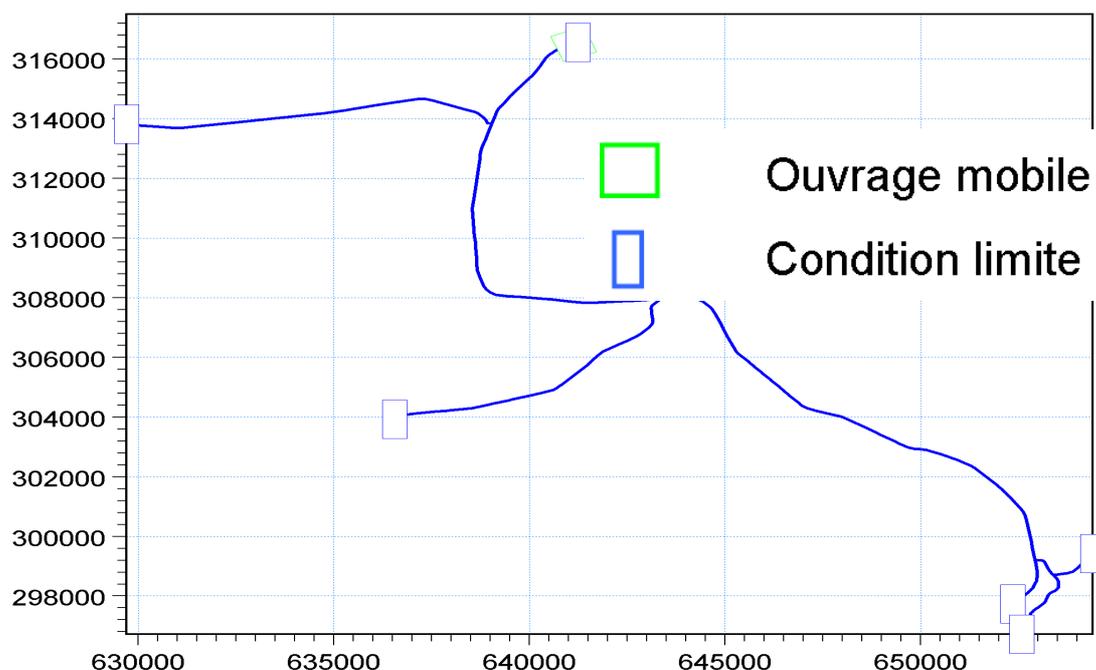


Figure 20 : vue du réseau hydrographique sous l'interface Mike 11

**Tableau 1: description biefs représentés dans le modèle hydraulique 1D Mike 11**

Biefs	Nombre de PT	Linéaire (m)
Deule Douai-Don	292	29387
Scarpe (depuis Augustins)	30	3096
Scarpe AntenneGayant-FortdeScarpe	12	1291
Canal d'Aire Bauvin-Cuinchy	94	9586
Canal de Lens	86	8522
Aval don	1	112
TOTAL	515	51995

Tableau 2 : Inventaire des fichiers du dossier de modélisation 1D écluse de Don manuelle sur Lens transmis par VNF

Type	Nom	Commentaires	
Fichiers de simulation	Calage_juin2006.sim11	paramètres de simulation du 13/06/2006 au 15/06/2006 pas de temps : 1 h	
Fichiers de conditions limites	calage_juin2006.bnd11	Débits	Cote aval
		Deule pk 0	aval de Don pk 111
		Scarpe Gayant pk 1290	
		Scarpe Augustins pk 0	
		Canal de Lens pk 0	
		Canal d'Aire pk 9585	
Fichiers de séries temporelles	QentrantAugustins29082013.dfs0	Hydrogramme d'entrée scarpe Augustins Juin 2006	
	QentrantCanaldeLens29082013.dfs0	Hydrogramme d'entrée Canal de Lens Juin 2006	
	QentrantDOUAI29082013.dfs0	Hydrogramme d'entrée Deule Juin 2006	
	QsortantCuinchy29082013.dfs0	Hydrogramme de sortie Canal d'Aire Juin 2006	
	QsortantFDS29082013.dfs0	Hydrogramme de sortie Fort de Scarpe Juin 2006	
Fichier de paramètres HD	Calage_juin2006.HD11	coefficients de Strickler 30, paramètres numériques	
Fichiers de résultats	Calage_juin2006.res11	résultats de la simulation VNF du 13/06/2006 au 15/06/2006	

Tableau 3 : Inventaire des fichiers du dossier de modélisation 1D écluse de Don automatique sur Lens transmis par VNF

Type	Nom	Commentaires	
Fichiers de simulation	Siphon_Don_automatique.sim11	paramètres de simulation du 13/06/2006 au 15/06/2006 pas de temps : 1 h	
Fichiers de conditions limites	Siphon_Don_automatique.bnd11	Débits	Cote aval
		Deule pk 0	aval de Don pk 111
		Scarpe Gayant pk 1290	
		Scarpe Augustins pk 0	
		Canal de Lens pk 0	
		Canal d'Aire pk 9585	
Fichiers de séries temporelles	QentrantAugustins29082013.dfs0	Hydrogramme d'entrée scarpe Augustins Juin 2006	
	QentrantCanaldeLens29082013.dfs0	Hydrogramme d'entrée Canal de Lens Juin 2006	
	QentrantDOUAI29082013.dfs0	Hydrogramme d'entrée Deule Juin 2006	
	QsortantCuinchy29082013.dfs0	Hydrogramme de sortie Canal d'Aire Juin 2006	
	QsortantFDS29082013.dfs0	Hydrogramme de sortie Fort de Scarpe Juin 2006	
Fichier de paramètres HD	Siphon_Don_automatique.HD11	coefficients de Strickler 30, paramètres numériques	
Fichiers de résultats	Siphon_Don_automatique.res11	résultats de la simulation VNF du 13/06/2006 au 15/06/2006	

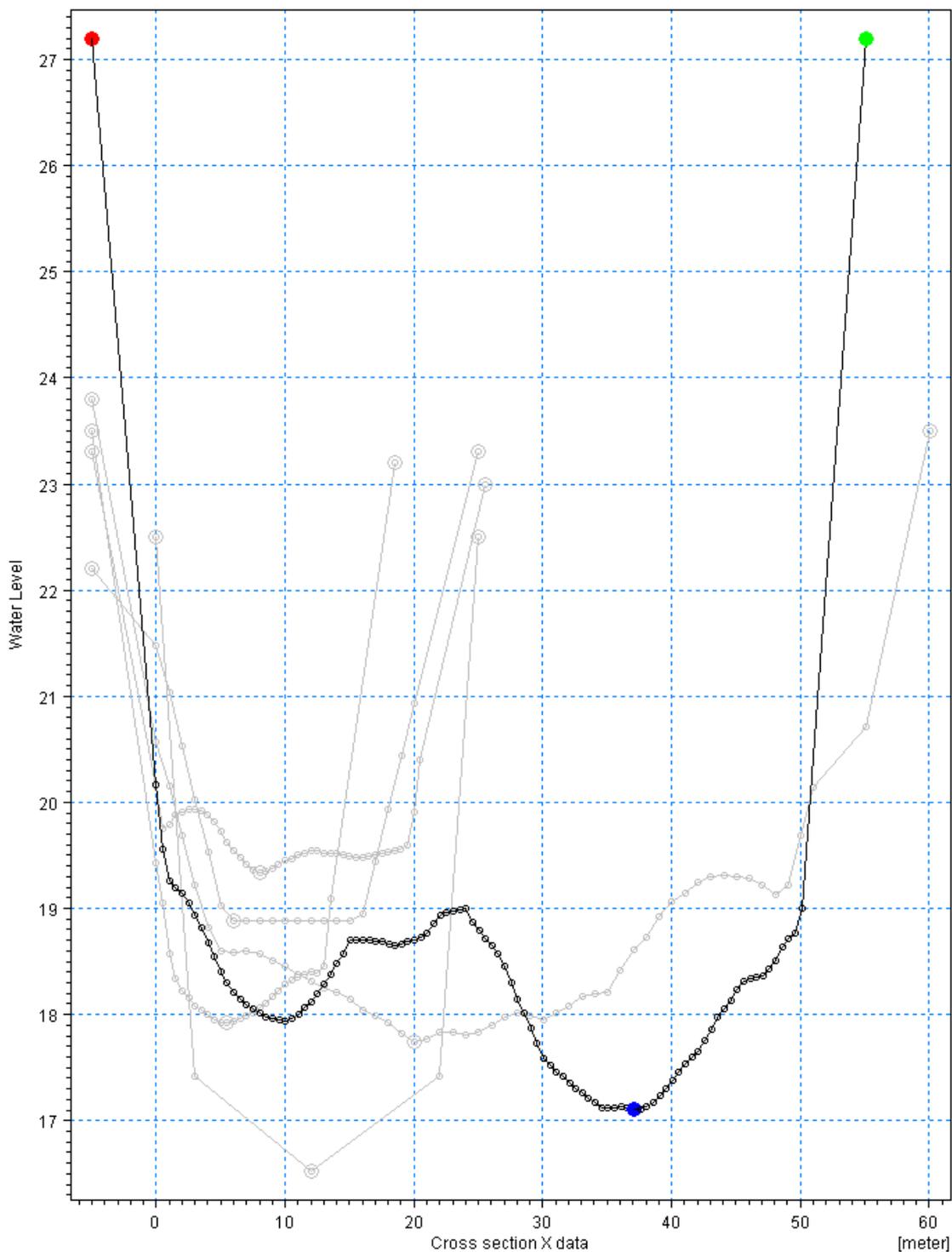


Figure 21 : Exemple de sections en travers issus du modèle hydraulique 1D sur Lens

## 3.III.2 Vérification du modèle

### 3.III.2.1 Les sections en travers

Les sections en travers présentes dans le modèle sont très nombreuses en raison des délais courts d'exécution de l'étude, nous n'avons pas procédé à la vérification de toutes les sections.

Nous avons reçu de la part de VNF les données bathymétriques sur toutes les voies navigables de notre zone d'étude.

Ainsi, après avoir traité les données bathymétriques sous ArcGIS (transformation des points XYZ en raster de pixel 1 m<sup>2</sup> par interpolation – méthode des voisins naturels), et après avoir intégré ces rasters de bathymétrie au lit, nous avons pu comparer quelques sections en travers du modèle hydraulique 1D avec celles issues du MNT intégrant la bathymétrie et Lidar.

Quelques exemples de comparaisons sont présentés sur les figures ci-après.

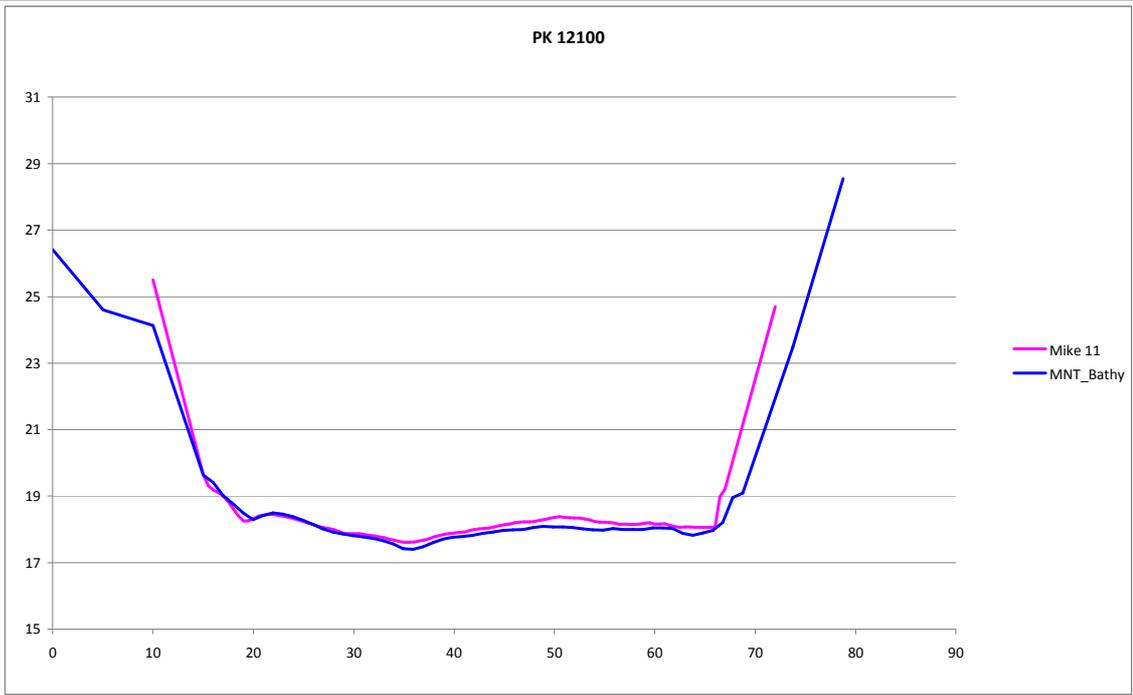
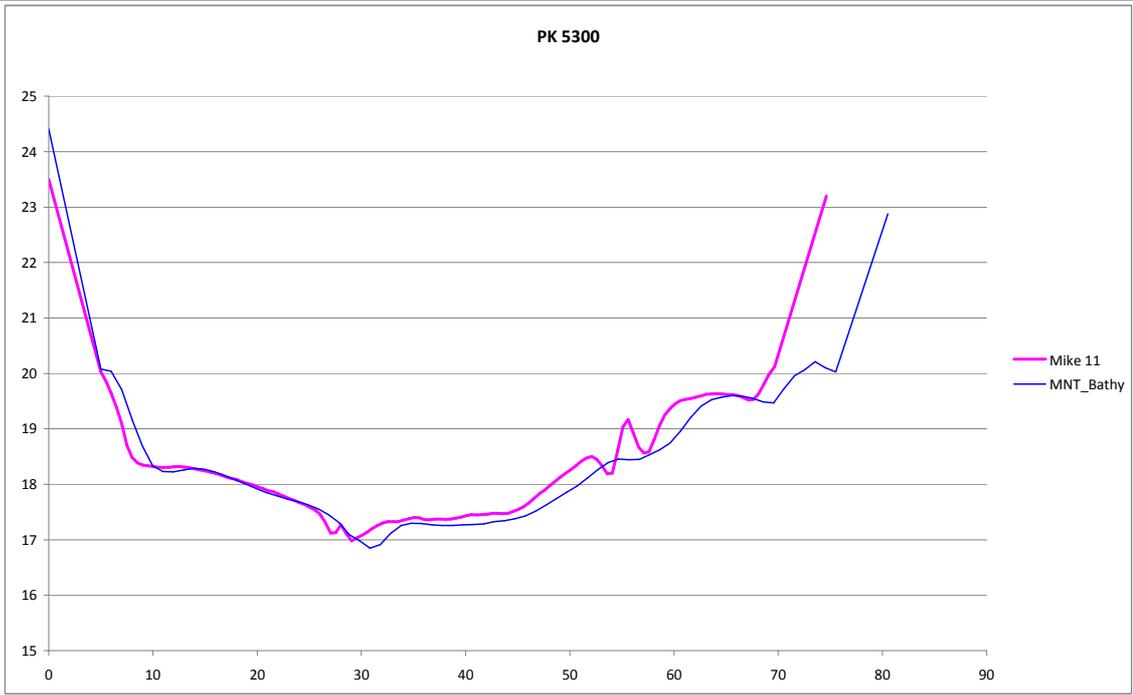
Pour la Deûle et le canal d'Aire, les sections en travers du modèle hydraulique 1D sont très proches de celles issues du MNT.

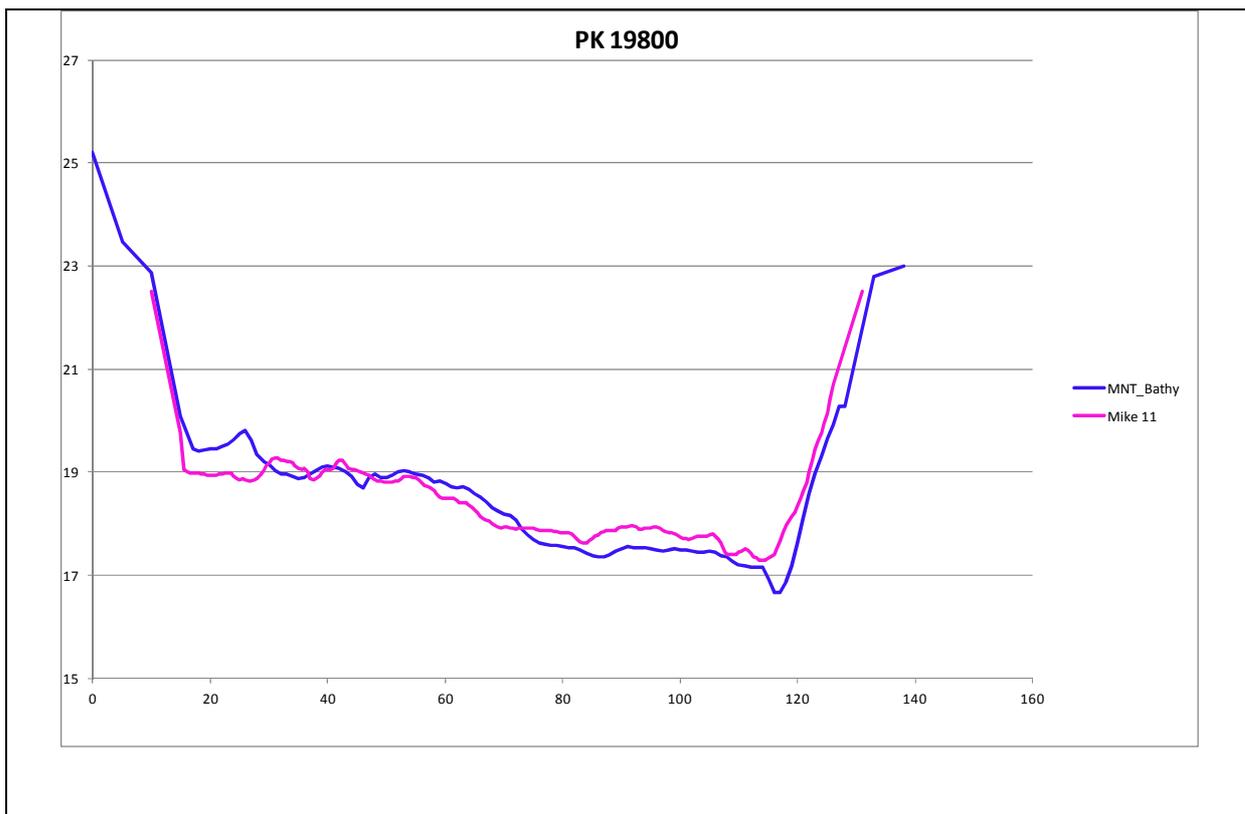
En revanche, pour le canal de Lens, on observe des différences notables en termes de largeur de cours d'eau et de hauteur de berge.

VNF indique que sur le canal de Lens, des coupes-types ont été intégrées au modèle hydraulique, qui n'a pas été mis à jour.

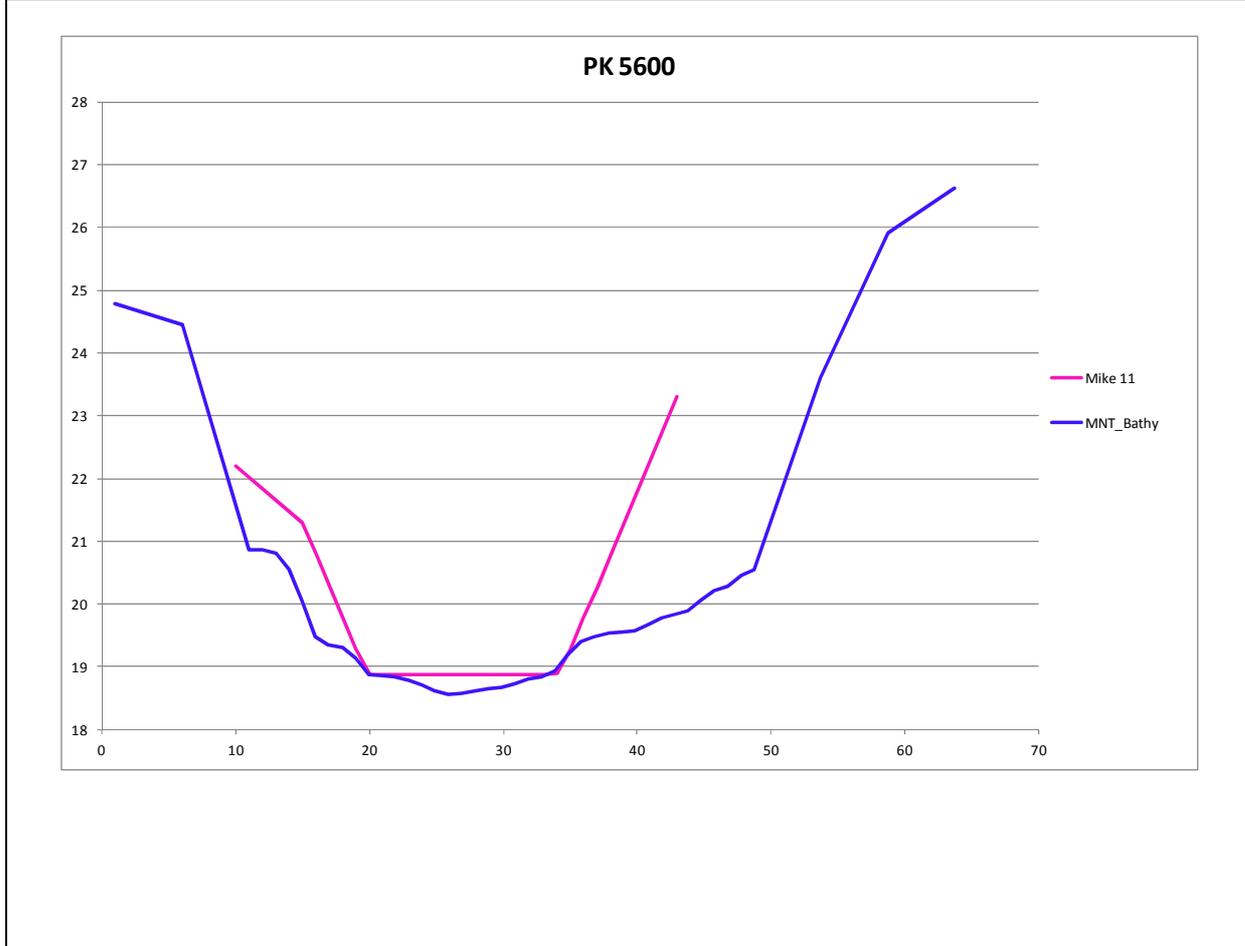
Il ne semble donc pas y avoir d'erreur dans la construction du modèle hydraulique 1D, néanmoins des différences parfois importantes existent entre les sections du modèle hydraulique et les nouvelles données topographiques et bathymétriques disponibles. Il serait intéressant que VNF mette à jour les sections en travers du modèle hydraulique 1D avec les derniers levés bathymétriques et Lidar pour le canal de Lens.

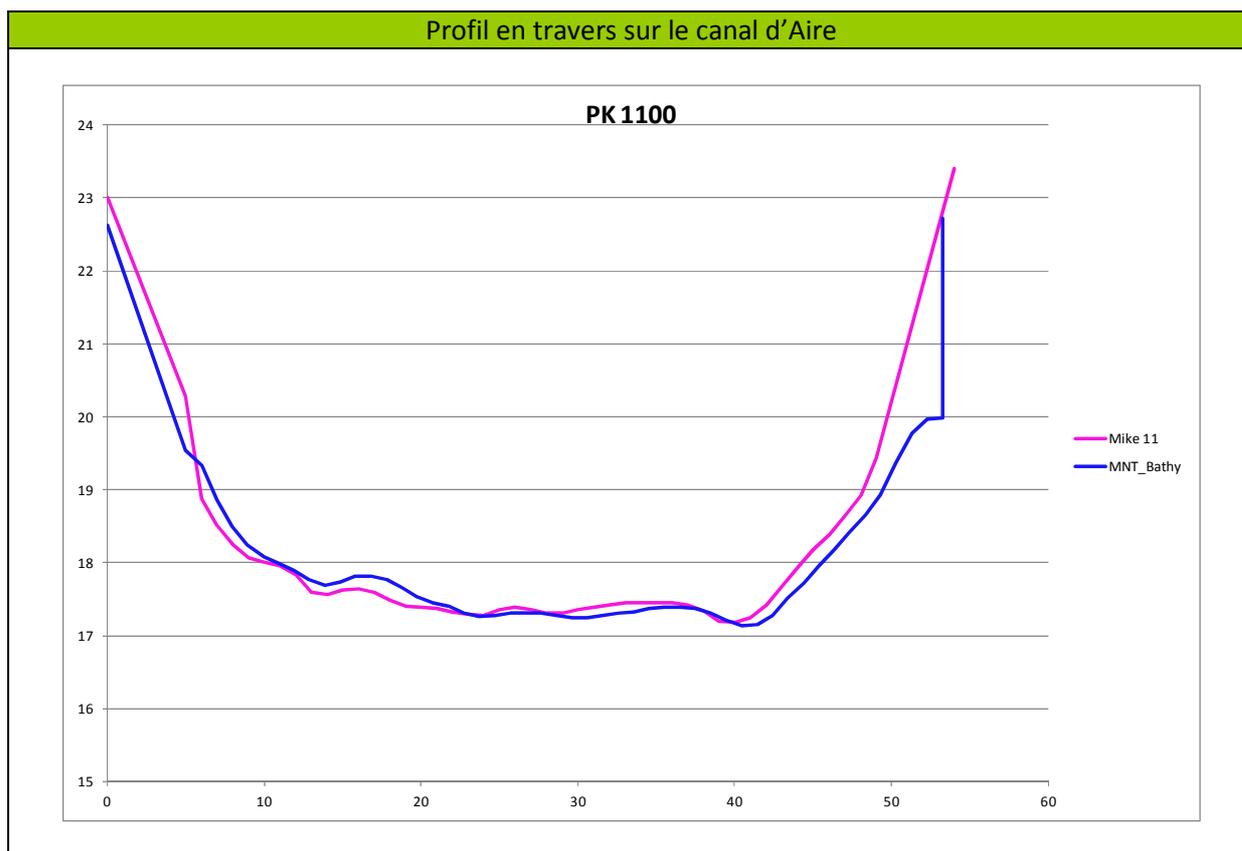
Profils en travers sur la Deûle





Profil en travers sur le canal de Lens





### 3.III.2.2 Les biefs

On dénombre au total 6 tronçons décrits dans le modèle hydraulique Mike 11, avec un linéaire total de 51 995 m. Ces tronçons constituent les biefs suivants :

- la Deûle (de l'écluse de Douai jusqu'à l'aval de l'écluse de Don) sur 29 499 m ;
- la Scarpe (de l'écluse des Augustins jusqu'à la confluence avec la Deûle) sur 3 096 m ;
- la Scarpe (de Fort de Scarpe jusqu'à la confluence avec la Deûle) sur 1 291 m ;
- le Canal d'Aire (de Bauvin jusqu'à l'écluse de Cuinchy) sur 9 586 m ;
- le Canal de Lens (sans la Souchez) sur 8 522 m ;

Les biefs sont correctement entrés dans le modèle, le linéaire est cohérent avec celui qu'on peut mesurer sur SIG, les biefs sont correctement connectés entre eux.

Les coefficients de rugosité, caractérisant la résistance du bief au flux en fonction de la nature du lit mineur, sont quantifiés en coefficient de Strickler (K). Ces coefficients de rugosité servent de variable d'ajustement au moment du calage du modèle hydraulique. En Strickler, la valeur choisie par VNF est 30.

Cette valeur de coefficient de Strickler est proche de celle utilisée dans le modèle hydraulique 1D de Lille (entre 35 et 45). La valeur de 30 reste dans la gamme de coefficients traditionnellement utilisés sur notre territoire pour des rivières moyennes à fond de graviers ou sables et dont les pentes sont faibles.

### **3.III.2.3 Les ouvrages**

Le modèle inclut seulement l'écluse/barrage de Don. Les 3 siphons sont configurés en gestion manuelle dans un premier modèle et en gestion automatique dans un second modèle.

La description de ces siphons en configuration manuelle dans le modèle semble cohérente avec celle évoquée dans le dossier d'ouvrage.

### **3.III.2.4 Les conditions initiales**

Le modèle hydraulique sur Lens est initialisé à la cote 21.54 m. Ceci permet d'avoir une faible hauteur d'eau dans les différents tronçons au temps zéro et limite les instabilités.

### **3.III.2.5 Les conditions aux limites**

A chacune des limites du modèle hydraulique, un débit entrant, un débit sortant ou un niveau d'eau est associé.

Ainsi, pour le modèle hydraulique de Lens, les conditions aux limites sont les suivantes :

- Deûle : débits mesurés entrant à Douai ;
- Scarpe : débits mesurés entrant aux Augustins ;
- Scarpe : débits mesurés sortant à Fort de Scarpe ;
- Canal de Lens : débits mesurés entrant en sortie de Lens ;
- Canal d'Aire : débits nuls sortant à Cuinchy.

Aucun autre apport n'est pris en compte.

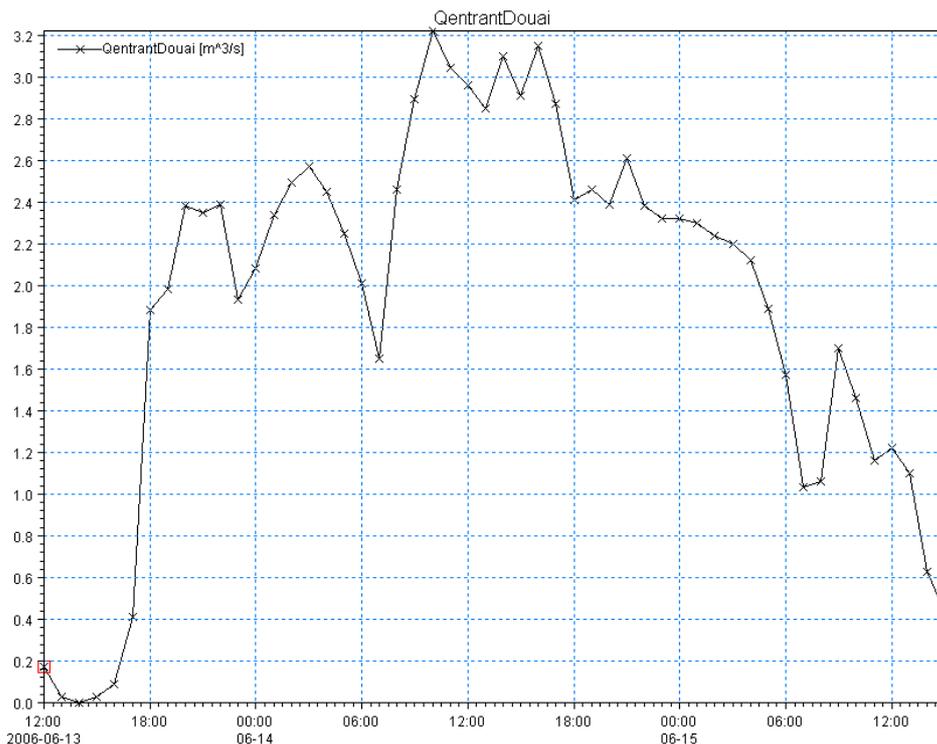


Figure 22 : débits mesurés entrant à Douai sur la Deûle;

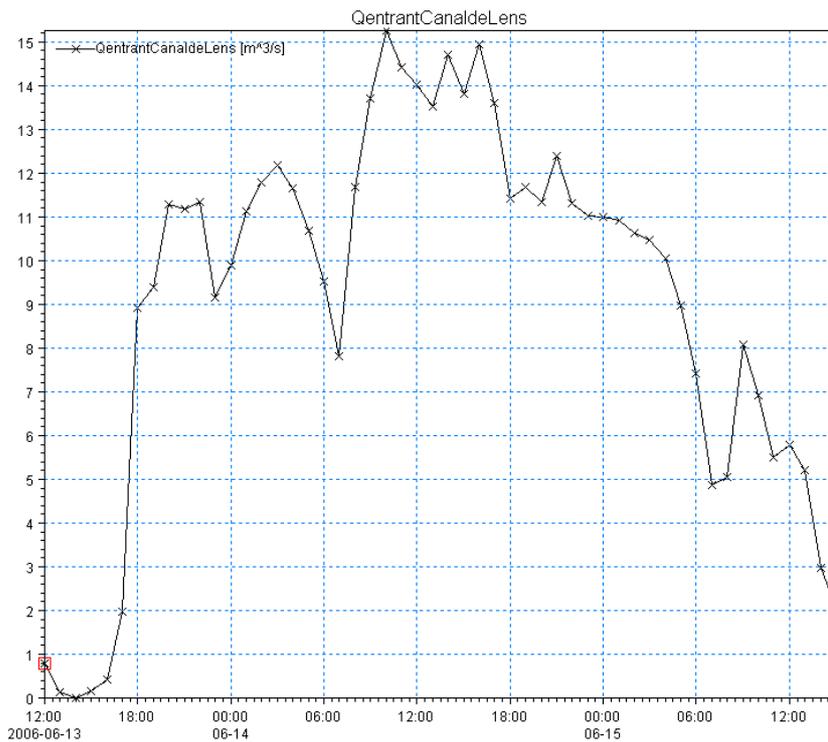


Figure 23 : débits mesurés entrant en sortie de Lens sur le Canal de Lens ;

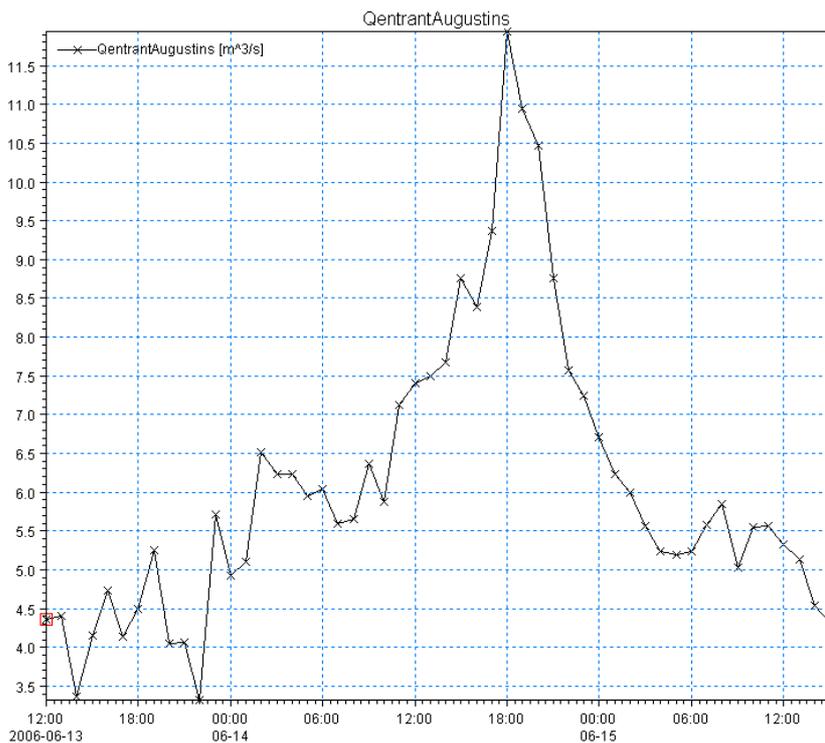


Figure 24 : débits mesurés entrant aux Augustins sur la Scarpe

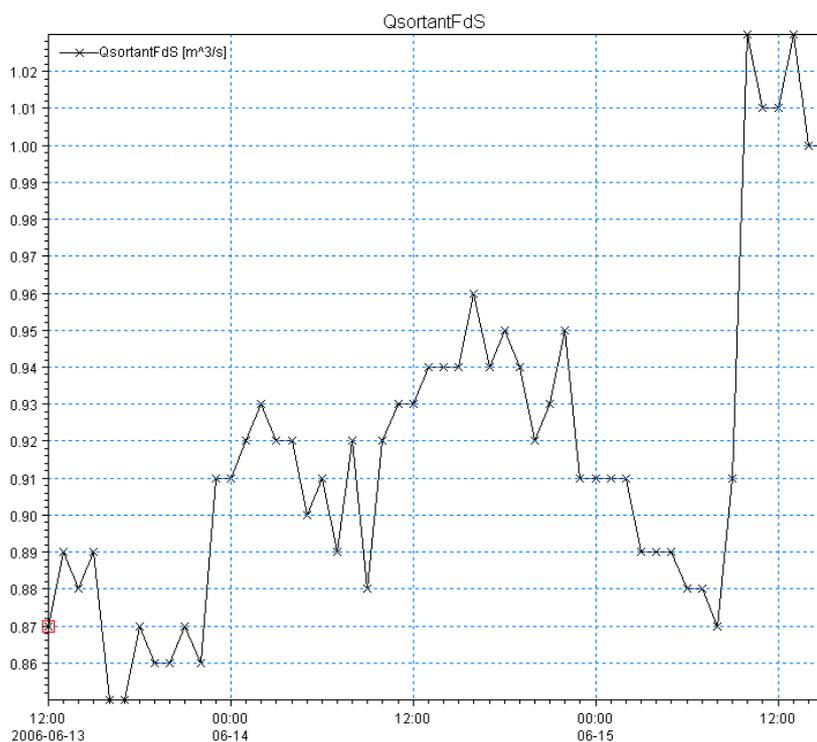


Figure 25 : débits mesurés sortant à Fort de Scarpe sur la Scarpe

### **3.III.2.6 Les paramètres numériques**

Le logiciel Mike 11 résout les équations de St-Venant, et utilise dans son schéma de résolution différents paramètres numériques. Dans le modèle de Lens, les valeurs par défaut des paramètres numériques ont été conservées.

### **3.III.2.7 Validation du calage**

Afin de s'affranchir de différents doutes, comme par exemple celui d'une différence dans les résultats due à la version du logiciel utilisé, il convient d'effectuer des simulations test. VNF nous a transmis des fichiers de paramètres de simulations et de résultats pour un scénario de calage, celui de Juin 2006.

Pour ce scénario, sans modifier aucun fichier, nous avons refait tourner la simulation et comparé les résultats (lignes d'eau et débits calculés en chacun des points).

Nous n'observons aucune différence, nous retrouvons exactement les mêmes résultats que ceux du calage effectué par VNF.

### **3.III.2.8 Conclusions**

Le modèle hydraulique sur le TRI de Lens fourni par VNF à SAFEGE est de qualité suffisante pour être exploité dans la présente étude.

On notera néanmoins que le modèle n'a pas été mis à jour avec la récente topographie issue de levés Lidar sur le canal de Lens.

## **3.III.3 Exploitation du modèle 1D pour des événements fréquent, moyen et extrême**

Les hydrogrammes de crue et d'apport de crue décennale ont été injectés dans le modèle 1D.

On observe très localement de légers débordements.

Ainsi, pour des événements fréquent, moyen et extrême, la stratégie de modélisation utilisée est le modèle 2D pour la cartographie des zones inondables.

## Cas des situations débordantes

Ce chapitre présente la modélisation 2D lit mineur et lit majeur sur les TRI de Lille et Lens. Après avoir vérifié quelle situation hydrologique était débordante, nous avons construit des modèles hydrauliques 2D afin de cartographier les zones inondables.

Comme nous l'avons vu dans les phases précédentes, le bassin Artois-Picardie est un bassin fortement artificialisé, où les cours d'eau sont connectés entre eux et gérés par VNF. Il n'y a plus de notion de bassin versant naturel. Dans cette configuration, l'idéal aurait été de construire un modèle 2D unique du bassin Artois-Picardie, ou au moins un modèle TRI Lille et Lens unique. Malheureusement, nous sommes numériquement limités pour créer de si grands modèles 2D avec un niveau de détail suffisant pour déterminer les zones inondables.

La stratégie de modélisation a donc été de construire 2 modèles hydraulique 2D : un sur le TRI de Lens et un sur le TRI de Lille.

Les simulations ont été réalisées sur le logiciel de modélisation TELEMAC 2D.

TELEMAC-2D permet de simuler les écoulements à surface libre à deux dimensions d'espace horizontales. Le logiciel calcule, en chaque point du maillage, la hauteur d'eau ainsi que les deux composantes de la vitesse.

TELEMAC-2D résout les équations de Saint-Venant à l'aide de la méthode des éléments finis ou des volumes finis sur une grille de calcul à éléments triangulaires. Il permet d'effectuer des simulations en régime transitoire aussi bien qu'en régime permanent.

Les équations que le logiciel résout sont écrites sous la forme:

(1)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = P$$

(2)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial \left( \frac{Q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( \frac{Q_x Q_y}{h} \right)}{\partial y} \\ &= -gh \frac{\partial Z}{\partial x} - g \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{C^2 h^2} + K \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial \left( \frac{Q_x}{h} \right)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial \left( \frac{Q_x}{h} \right)}{\partial y} \right) \right) + F_x(W) + P_x \end{aligned}$$

(3)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial \left( \frac{Q_x Q_y}{h} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( \frac{Q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right)}{\partial y} \\ &= -gh \frac{\partial Z}{\partial y} - g \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{C^2 h^2} + K \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial \left( \frac{Q_y}{h} \right)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial \left( \frac{Q_y}{h} \right)}{\partial y} \right) \right) + F_y(W) + P_y \end{aligned}$$

où h est la hauteur d'eau, Z la cote du fond, Qx le débit (unitaire) selon l'axe Ox égal au produit de la vitesse par la hauteur, Qy le débit (unitaire) selon Oy, g l'accélération de la pesanteur, K une constante de viscosité (ou diffusion), C la constante de Chézy pour le frottement au fond (ou coefficient de Strickler multiplié par h<sup>1/6</sup>), W la vitesse du vent, Fx et Fy les contraintes dues au vent exprimées sous la forme 0,6x10<sup>-6</sup> Wx W<sup>3/2</sup> et 0,6x10<sup>-6</sup> Wy W<sup>3/2</sup>, Px et Py les composantes du frottement à la paroi (verticale) exprimée comme le frottement au fond mais la contrainte étant parallèle à la paroi, on utilise un facteur multiplicatif valant 0 pour les mailles sans paroi et h/L pour les autres mailles avec L dimension de la maille dans la direction perpendiculaire à la paroi, P l'apport local correspondant à la pluie (dont on néglige la quantité de mouvement).

Toutes les données du calcul, y compris la cote du fond, sont décrites indépendamment du maillage. Si nécessaire, une interpolation est ensuite effectuée soit aux sommets (cote du fond par exemple), soit au centre de la maille (coefficient de frottement par exemple).

Les conditions initiales sont fixées par l'utilisateur en tirant d'eau (ou cote) et débits (ou vitesses) en chaque centre de maille à l'instant de début du calcul.

Le pas de temps peut être soit fixe, soit variable (déterminé en fonction du nombre de Courant) ; des variations trop brutales engendrent cependant des perturbations numériques. Il en est de même des dimensions de maille qui ne doivent pas être dans un trop grand rapport entre les 2 directions et d'une maille à sa voisine.

TELEMAC-2D permet de prendre notamment en compte les phénomènes physiques suivants :

- ✓ Frottement sur le fond,
- ✓ Écoulements torrentiels et fluviaux,
- ✓ Coordonnées cartésiennes ou sphériques pour les grands domaines,
- ✓ Zones sèches dans le domaine de calcul : bancs découvrants et plaines inondables,
- ✓ Traitement de singularités : seuils, digues, buses.

Le logiciel TELEMAC est disponible en open source, il est gratuit et ne nécessite aucun achat de licence.

## 4.1 Hypothèses de modélisation

En réunion de démarrage de la phase 4, le COPIL a décidé les hypothèses de modélisation suivantes :

1. les apports des stations de relèvements (SRE) ne sont pas pris en compte (négligeable par rapport aux débits en rivière).

Nous avons répertorié 7 communes (toutes du Pas-de-Calais) qui sont "équipées" de SRE. Six SRE se déversent dans le canal de la Deûle avec une capacité nominale de 16 940 m<sup>3</sup>/h, soit moins de 5 m<sup>3</sup>/s, donc moins d'1 m<sup>3</sup>/s en moyenne par station. On considèrera ce débit négligeable au regard des débits de la Deûle en crue pour l'élaboration de cartographies des zones inondables.

2. dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement fréquent est 10 ans, et entre 10 et 30 ans à l'aval des confluences ;
3. dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement moyen est 100 ans, et entre 100 et 300 ans à l'aval des confluences ;
4. dans les cours d'eau étudiés (Lys, Deûle, Canal de Lens), la période de retour pour l'événement extrême est 1000 ans, et supérieur à 1000 ans à l'aval des confluences ;
5. la localisation des conditions aux limites du modèle 2D sera la même que celle du modèle 1D existant ;

6. les ponts sont considérés transparents hydrauliquement.

Il aurait été impossible de respecter les délais de l'étude si l'on avait dû répertorier tous les ponts susceptibles d'avoir un impact sur la ligne d'eau, récupérer leur géométrie et les entrer dans le modèle. A noter que les phénomènes de surverse d'un pont ne peuvent pas être représentés dans un modèle 2D. Seules les piles de pont auraient pu être intégrées au modèle, ce qui est très consommateur de mailles.

Cette hypothèse ne permet pas de représenter la perte de charge due à la géométrie des ponts, on aura donc tendance à sous-estimer la ligne d'eau.

7. les écluses sont considérées en configuration fermée, les barrages sont considérés en configuration ouverte.

Ces configurations nous ont été décrites par VNF, en charge de la gestion des barrages éclusés. Les écluses sont toujours fermées en cas de crue. VNF nous a transmis les cotes des portes des écluses quand la donnée était disponible (Grand Carré : 19.33 m, Marquette : 16.5 m, Quesnoy : 15.31 m), sinon les portes des écluses ont été mises à la cote moyenne du terrain naturel environnant.

8. les prises d'eau sont fermées ;

9. les digues sont fonctionnelles pour des crues millénales.

Cette hypothèse est forte, elle ne respecte pas les préconisations de la Directive Inondation. Néanmoins, étant donné le contexte hydraulique du bassin Artois-Picardie, une hypothèse de digues non-fonctionnelles n'aurait pas eu de sens et aurait sans doute conduit à remplir d'eau le bassin versant de Lys-Marque-Deûle.

10. aucun échange de flux dans les interconnexions des bassins n'est pris en compte.

En cas de crise, nous n'avons pas d'indication sur les décisions préfectorales concernant la gestion des flux d'eau entre les différentes entités hydraulique. Le comité de pilotage a décidé qu'aucun débit ne transitera depuis la Deûle vers la Scarpe et le canal d'Aire.

11. les simulations seront effectuées en régime transitoire ;

12. les hydrogrammes d'entrée du modèle 2D seront ceux issus d'autres études hydrauliques ou basés sur l'analyse hydrologique DHE et modifiés par SAFEGE.

Les hydrogrammes calculés dans l'analyse DHE, horodatés et utilisés dans le modèle 1D sont difficilement exploitables dans le modèle 2D. Les méthodes de résolution des équations de St-Venant sont différentes en 1D (Mike 11) et en 2D (Telemac 2D). De ce fait, l'horodatage effectué en 1D n'était pas valable en 2D, la concomitance des pics de crue n'était pas vérifiée. Ainsi, il aurait fallu refaire le travail d'horodatage pour le modèle 2D. Ce travail est très chronophage car il nécessite d'agir par itération, chaque simulation dure 3 jours au minimum sur des ordinateurs haute-performance. Aussi, ce travail est rendu très difficile par la forme des hydrogrammes très pointue.

Après concertation avec le comité de pilotage, nous avons décidé de modifier la durée du débit de pointe des hydrogrammes DHE. Pour les hydrogrammes d'entrée sur la Lys et le Canal de Lens, la durée du débit de pointe est de 12 heures. Pour les hydrogrammes d'apports, la durée du débit de pointe est de 6 heures. Par cette méthode, la concomitance des pics de crues a été facilitée. On notera toutefois qu'en allongeant la durée du pic de crue, on augmente le volume de crue. On aura donc tendance à surestimer les zones inondées. Cette méthode reste néanmoins bien plus réaliste qu'un simple régime permanent. La meilleure méthode aurait peut-être été de retravailler tous les hydrogrammes, en pondérant la durée du débit de pointe à la surface drainée, méthode qu'il n'était pas possible d'exécuter dans les délais impartis.

Pour le TRI de Lens, les hydrogrammes calculés sur la Deûle pour l'étude sur le TRI de Douai (bureau d'études PROLOG) ont été injectés sur la Deûle en condition limite amont du modèle 2D.

Pour le TRI de Lille, les hydrogrammes calculés sur la Deûle pour l'étude sur TRI de Lens ont été injectés sur la Deûle et les hydrogrammes issus de l'étude PPRI de la Marque (bureau d'études ARTELIA) ont été injectés sur la Marque en condition limite amont du modèle 2D.

## 4.II Modèle hydraulique 2D sur le TRI de Lens

### 4.II.1 Construction du modèle 2D

#### 4.II.1.1 Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude comprend un linéaire identique à celui du modèle 1D, c'est à dire de 30 km environ :

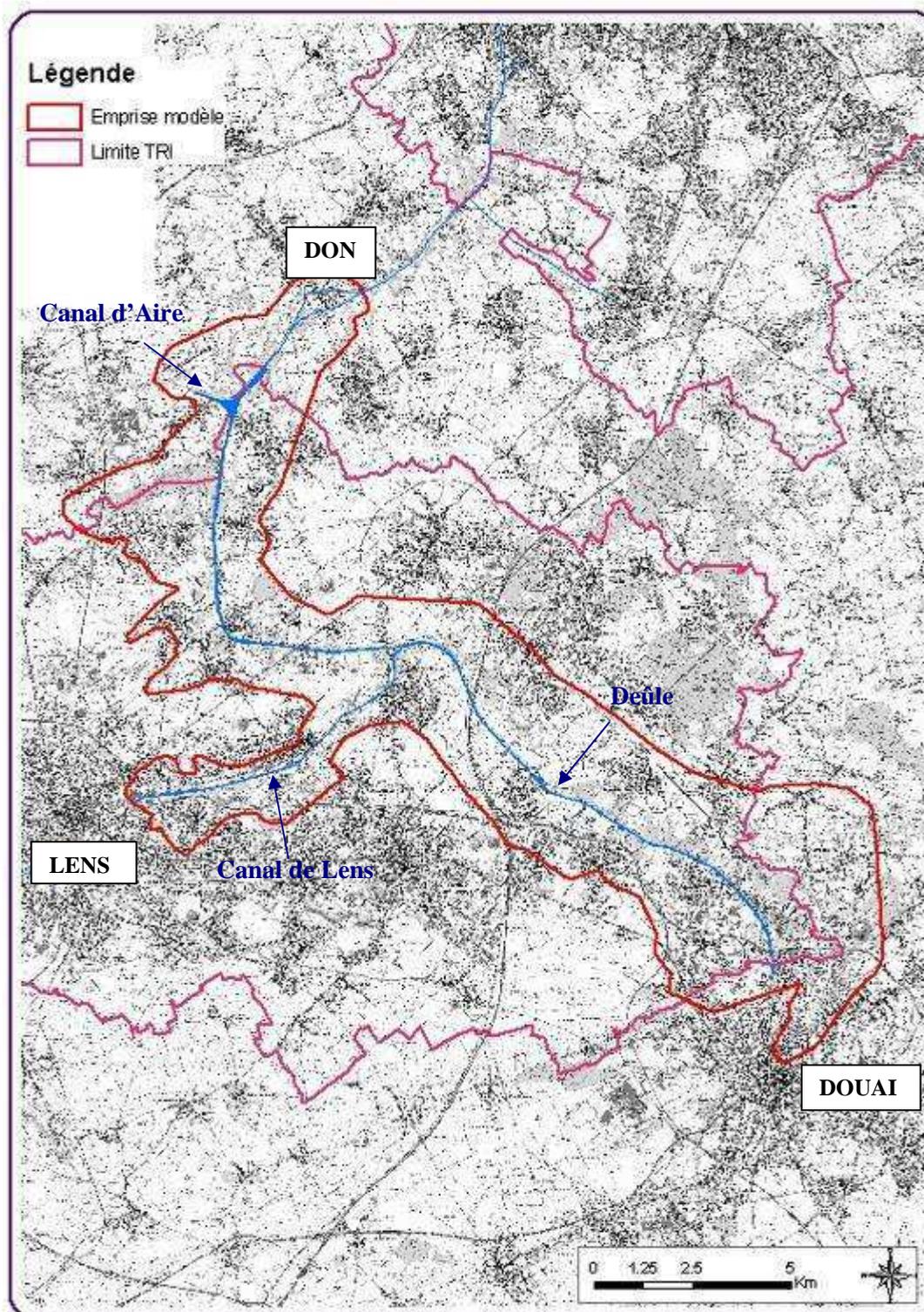
- La limite amont du bief Douai-Don se situe à l'aval de Douai (difffluence Scarpe-Deûle) ;
- La limite amont du canal de Lens se situe à l'aval de Lens (la Souchez n'est pas modélisée mais l'apport est pris en compte);
- La limite amont du canal d'Aire Bauvin-Cuinchy correspond à l'écluse de Cuinchy ;
- La limite aval du modèle correspond à l'aval de l'écluse de Don.

Concernant l'emprise du modèle, les plus hautes eaux générées par une crue de période de retour supérieure ou égale à 1 000 ans doivent être incluses dans la zone d'étude.

La délimitation de la zone est donc basée sur :

- L'analyse topographique du secteur ;
- Le lit majeur déterminé par l'étude géomorphologique (phase 2 de la présente étude).

Figure 26 : Délimitation de la zone d'étude



### **4.II.1.2 Données topographiques**

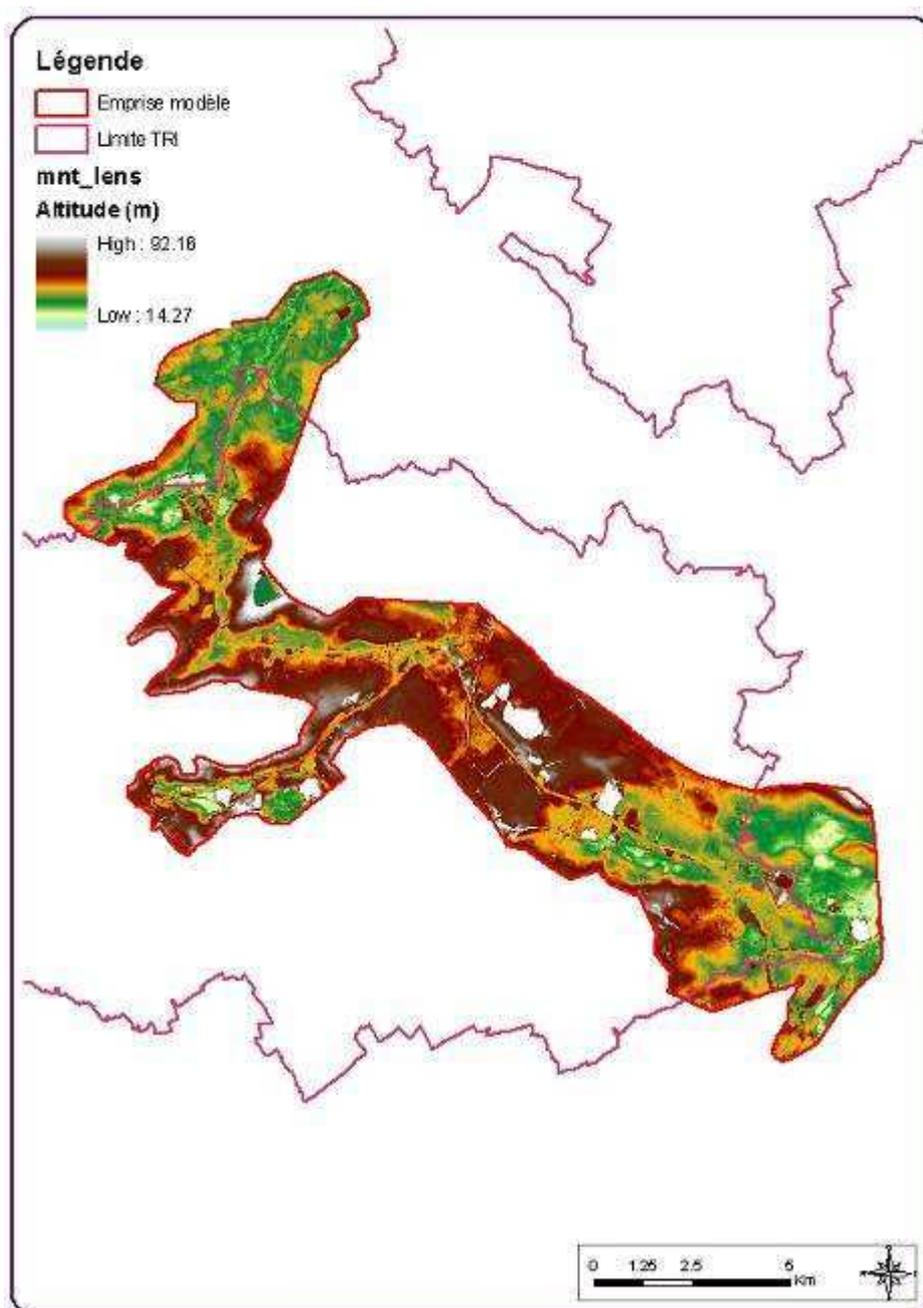
Les coordonnées altimétriques sont exprimées dans le système de Nivellement Général de la France (IGN 69).

#### **■ Le lit majeur**

Les données topographiques du lit majeur sont issues des données Lidar de Lille, fournies par le CG59 (données 2006) et de Lens, fournies par l'IGN (ces données ont été levées en 2013).

La méthodologie du traitement des données Lidar est la même que celle utilisée pour le TRI de Lille. Le semis de points des données Lidar est dense, un point tous les 5 m. Il n'est pas utilisable pour le modèle tel quel. Il a été ré-échantillonné à un point tous les 10 m.

Figure 27 : Topographie du lit majeur



### ■ Le lit mineur

Les données bathymétriques du lit mineur ont été fournies par Voies Navigables de France. L'espace des points topographiques est de 0.5 m.

Les fichiers utilisés sur la zone d'étude sont les suivants :

- Bauvin Cuinchy Ensemble
- Canal de Lens

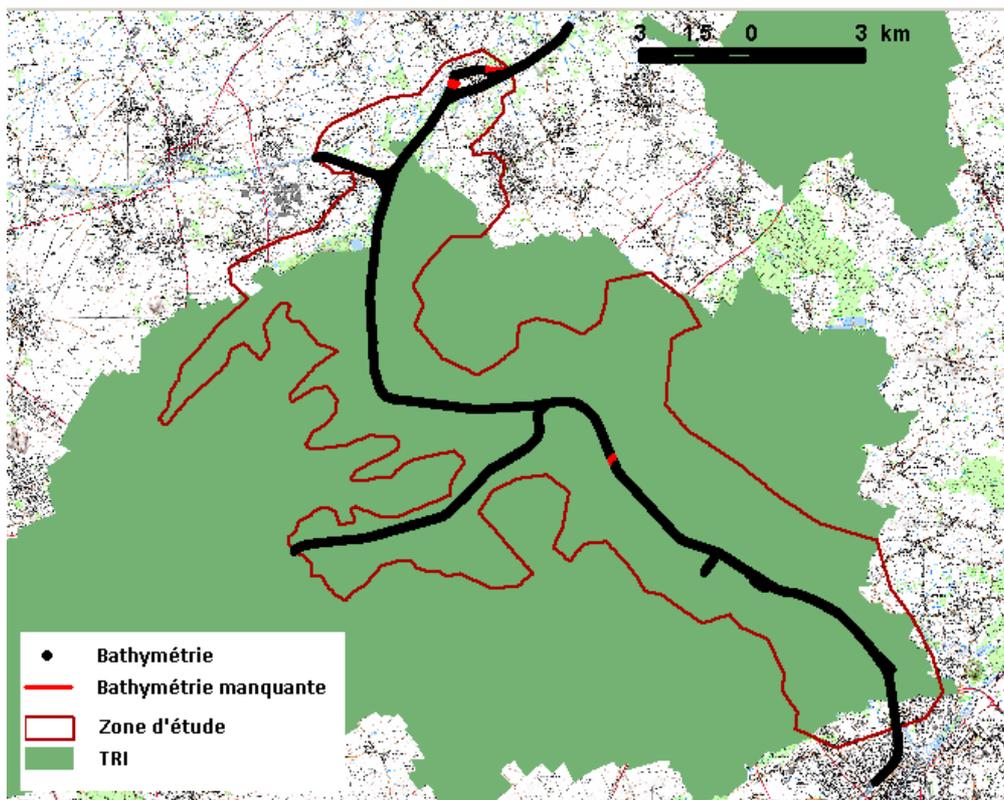
- Ecluse Douai Dourges zone 1
- Ecluse Douai Dourges zone 2
- Ecluse Douai Dourges zone 3
- Ecluse de Don – Pont de Sequelin
- Ilôt de Bauvin – Plateforme de Dourges
- Pont de Bauvin – Ecluse de Don + Gare d’Eau

Seuls les points dans le centre du lit mineur et en pied de berge ont été conservés, de manière à rendre les données manipulables.

Des données bathymétriques sont manquantes sur des petits linéaires de cours d’eau. Des points ont alors été ajoutés à la main en fonction de l’élévation de la bathymétrie à l’amont et à l’aval de ces tronçons et des informations tirées du modèle 1D.

Les données ajoutées ont été localisées sur la figure ci-dessous :

Figure 28 : Bathymétrie manquante



#### 4.II.1.3 Réalisation du maillage sur Bluekenue

Le maillage a été réalisé avec le logiciel Bluekenue. L'objectif du maillage 2D est de réaliser une représentation précise de la topographie réelle, tout en conservant un nombre de mailles inférieur à 300 000 afin de garder un temps de calcul raisonnable.

Un maillage global avec une taille de maille de 50 m a été construit sur l'emprise de la zone d'étude. Ce maillage a été raffiné au niveau des zones d'importances, afin de les prendre en compte et de les décrire plus finement dans le modèle :

- Le lit mineur du cours d'eau,
- Les ouvrages de transparence hydrauliques qui constituent des axes d'écoulements,
- Les obstacles à l'écoulement tels que les remblais routiers, voies de chemin de fer, plateformes surélevées...

On compte sur le secteur d'étude de nombreux ouvrages transversaux et longitudinaux susceptibles d'influencer les écoulements (remblais routiers, franchissements, faisceaux ferrés...).

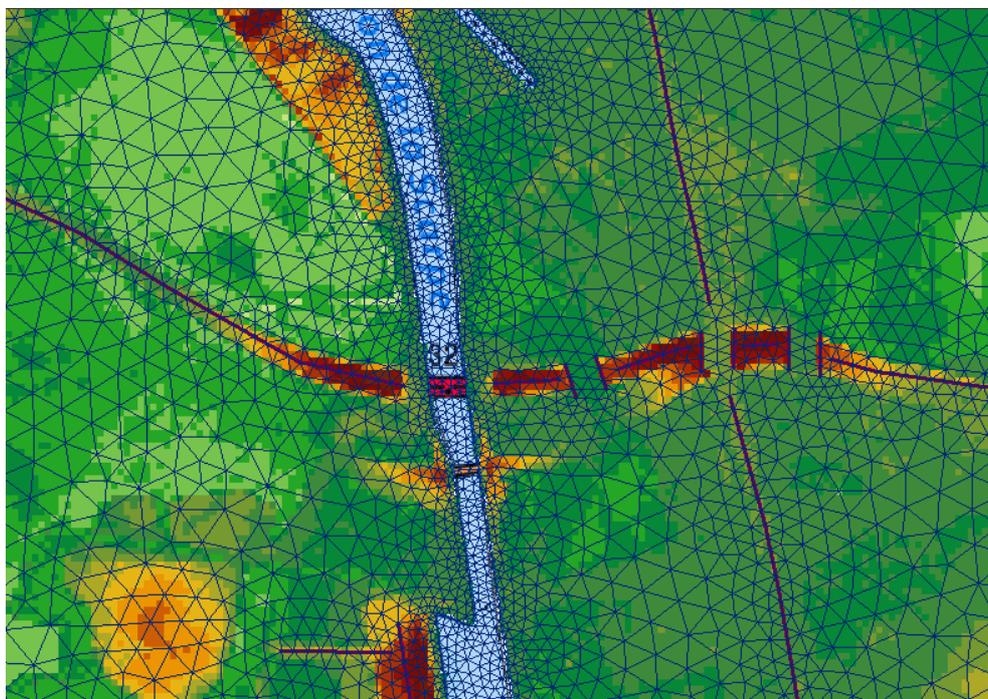
Les impacts possibles des ouvrages sur la propagation des crues ainsi que sur les zones inondées sont les suivants :

- ✓ **Effet global d'atténuation de l'onde de crue vers l'aval :**
  - Phénomène de laminage de l'hydrogramme de crue par stockage potentiel d'une partie du volume de crue entrant au niveau des retenues, restitué de façon différée à l'aval ;
  - Limitation possible du débit par les arches et radiers des franchissements routiers, par stockage potentiel d'une partie du volume en amont des obstacles, restitué de façon différée à l'aval ;
- ✓ **Effet local d'aggravation des zones inondées en amont des obstacles** par stockage d'une partie du volume de crue ;

### ■ Prise en compte des remblais

Les discontinuités topographiques qui constituent des obstacles à l'écoulement sont rentrées dans le modèle sous forme de lignes de contrainte. Le maillage s'appuie directement sur ces lignes afin que les nœuds de maille soient directement localisés sur ces discontinuités. Les points hauts sont ainsi bien représentés.

Figure 29 : Discontinuités topographiques



## ■ Prise en compte des ouvrages de franchissement

La topographie a été ajustée afin de modéliser les ouvrages de franchissement et de prendre en compte les écoulements qui peuvent avoir lieu sous les ponts.

Figure 30 : Modélisation des ouvrages de franchissement



## ■ Réalisation du maillage

Les tailles de maille retenues pour le modèle sont :

- 10 m<sup>2</sup> dans le lit mineur,
- 20 m<sup>2</sup> sur les discontinuités topographiques (remblais...),
- 50 m<sup>2</sup> dans le lit majeur.

Le maillage comporte ainsi environ **351 700 mailles**.

## ■ Modèle topographique

Le maillage a ensuite été interpolé aux données topographiques, afin que corresponde à chaque « nœud » de maille une cote d'élévation.

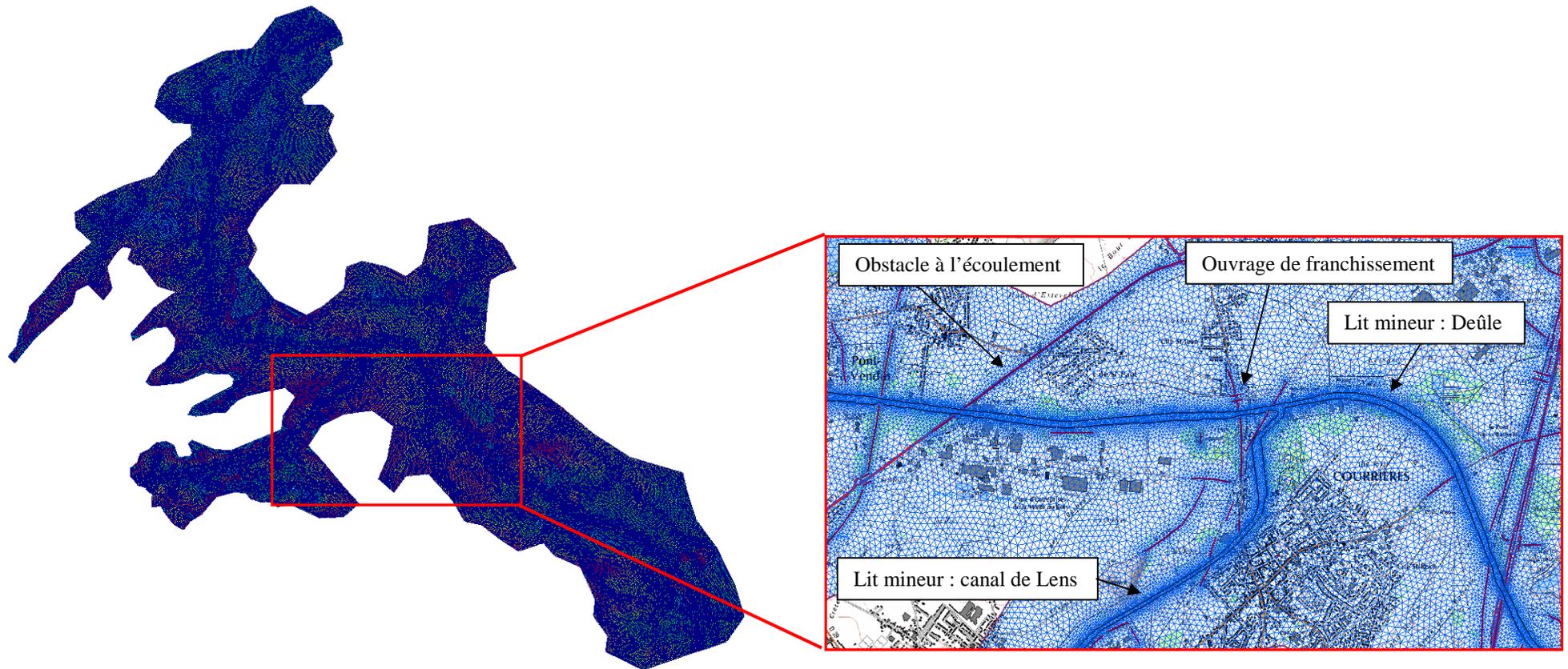
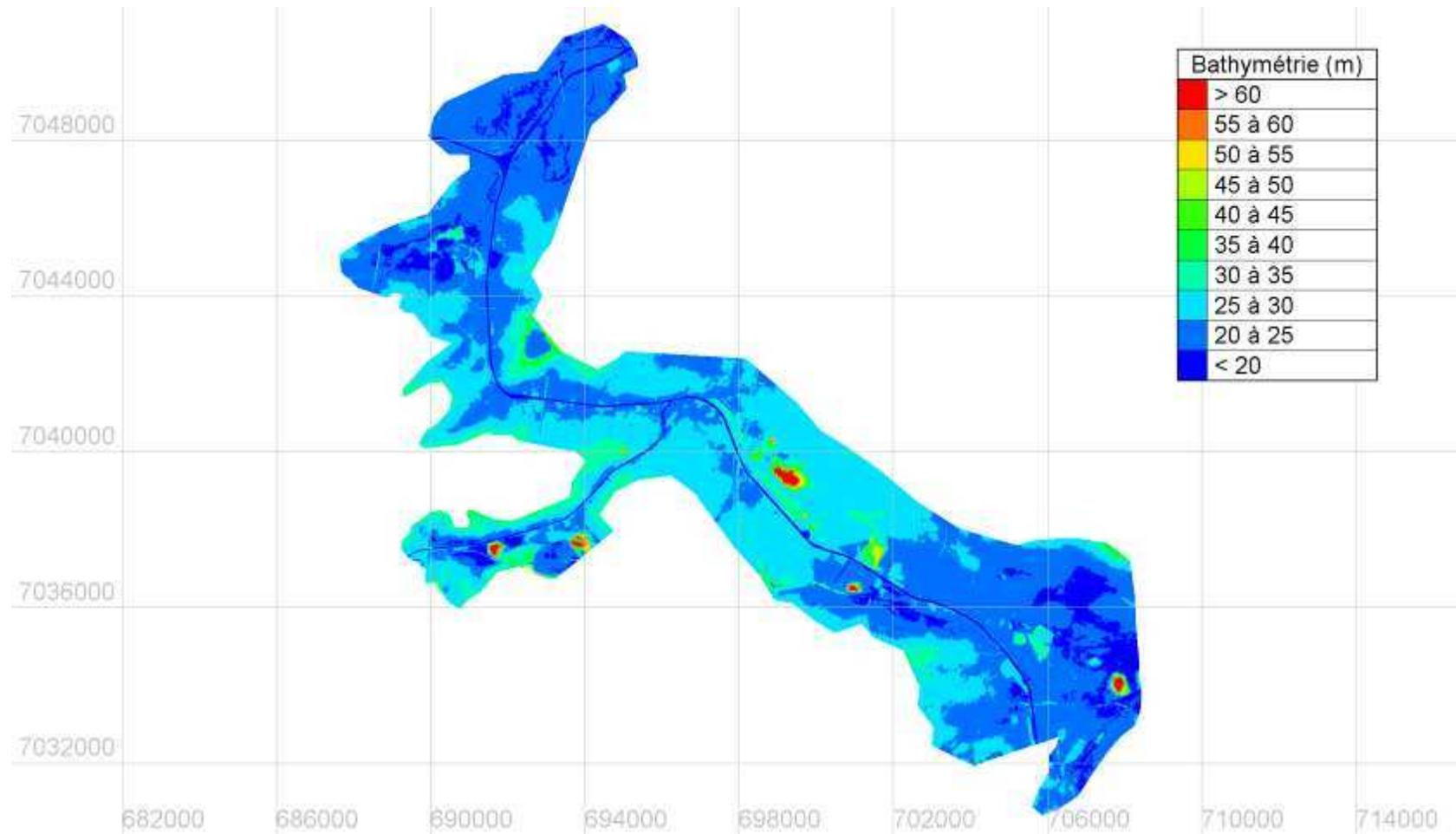


Figure 31 : Maillage du modèle TRI Lens

Figure : Modèle topographique TRI Lens



## ■ Coefficient de rugosité

Un coefficient de rugosité a été attribué à chaque nœud de maillage, en fonction de l'occupation du sol. Ils ont été déterminés à partir des couches vectorielles Corine Land Cover.

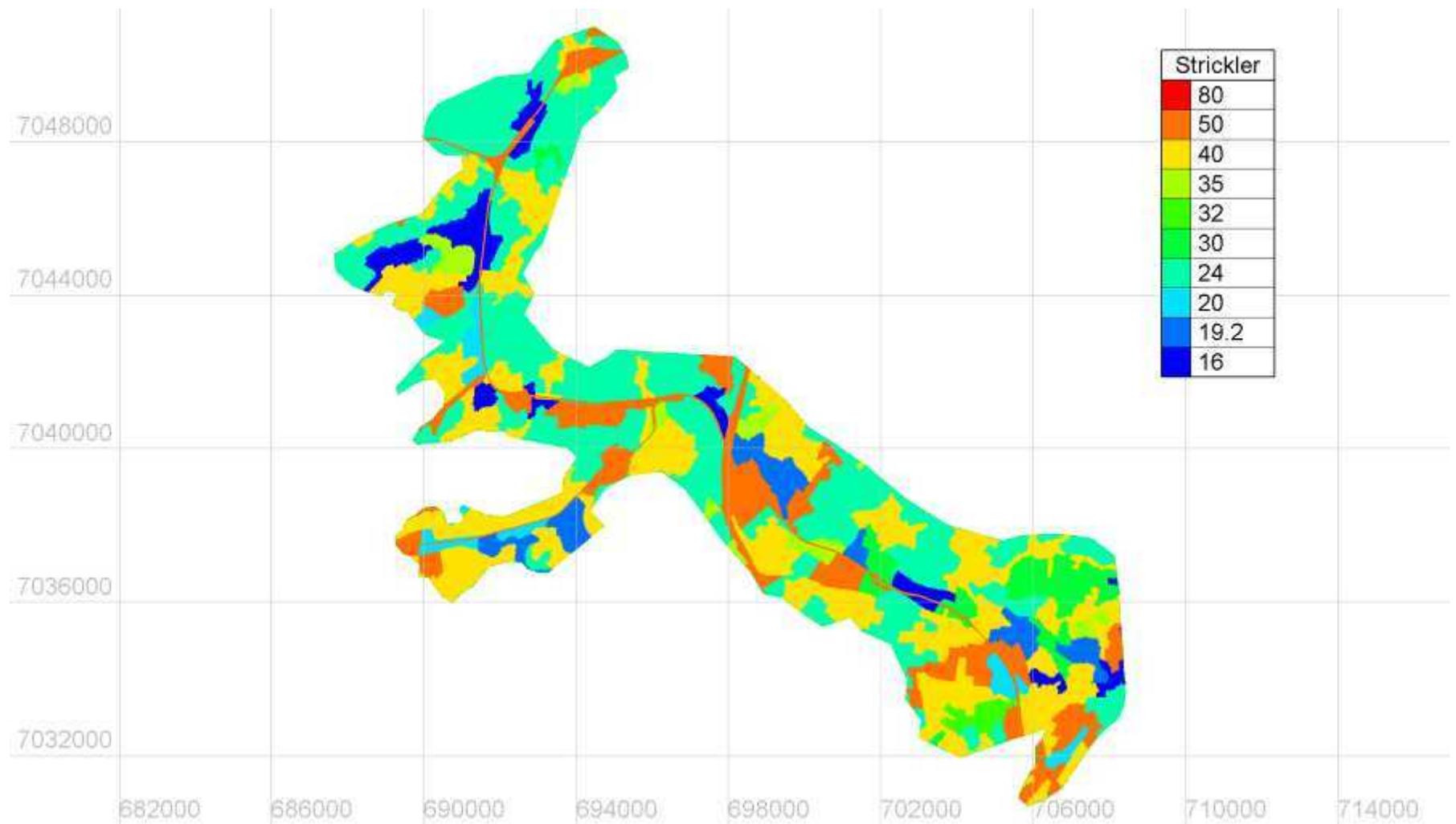
Les coefficients de rugosité retenus pour chaque type d'occupation du sol sont indiqués dans le tableau ci-après.

Tableau -4 : Coefficients de rugosité en fonction de l'occupation du sol

Type d'occupation du sol	Nombre de Strickler ( $m^{1/3}/s$ )
Terres arables hors périmètres d'irrigation	24
Tissu urbain discontinu	40
Zone industrielles et commerciales	50
Prairies	24
Équipements sportifs et loisirs	35
Forêts de feuillus	16
Plans d'eau	80
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	30
Réseaux routiers et ferroviaire et espaces associés	50
Landes et broussailles	20
Décharge	19.2
Extraction de matériaux	24
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	35
Forêt et végétation arbustive en mutation	20
Espaces verts urbains	32

Le figure ci-après présente une vue en plan des coefficients de rugosité appliqués selon l'occupation du sol de la zone d'étude.

Figure : Coefficient de rugosité selon l'occupation du sol sur le modèle TRI Lens



## 4.II.2 Calage du modèle 2D

Étant donné l'absence de repère de crue et les délais très courts de réalisation, aucun calage n'a été effectué.

## 4.II.3 Hydrogrammes et paramétrage du modèle

### A- Hydrogrammes

Comme expliqué au chapitre 4.1, les hydrogrammes d'entrée au modèle hydraulique 2D sont basés sur les résultats d'autres études : TRI Douai, PPRI Marque et analyse hydrologique DHE.

Le tableau suivant présente les débits de pointe associés aux hydrogrammes.

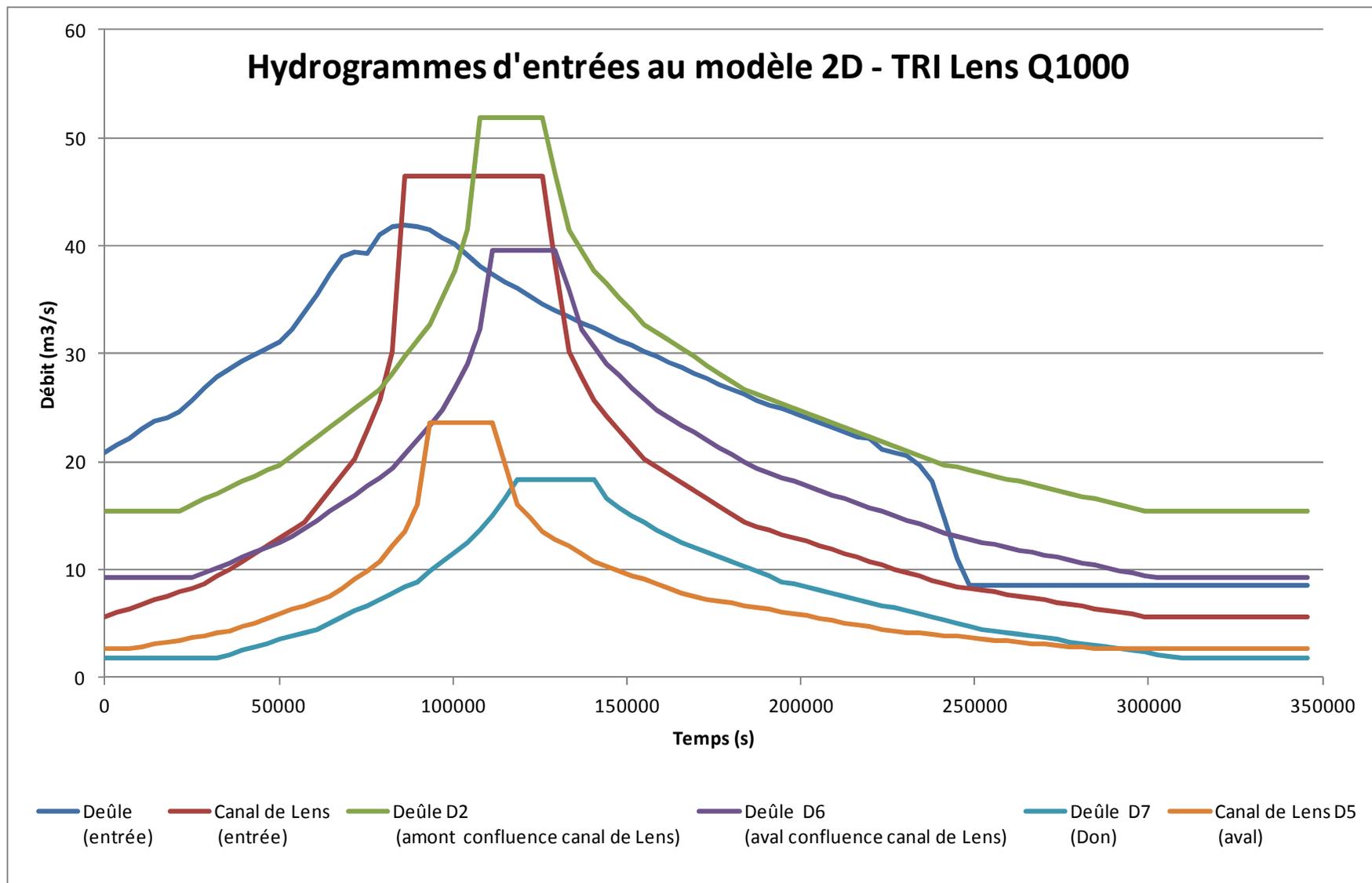
Tableau -5 : Débits de pointe des hydrogrammes du modèle 2D TRI Lens (m<sup>3</sup>/s)

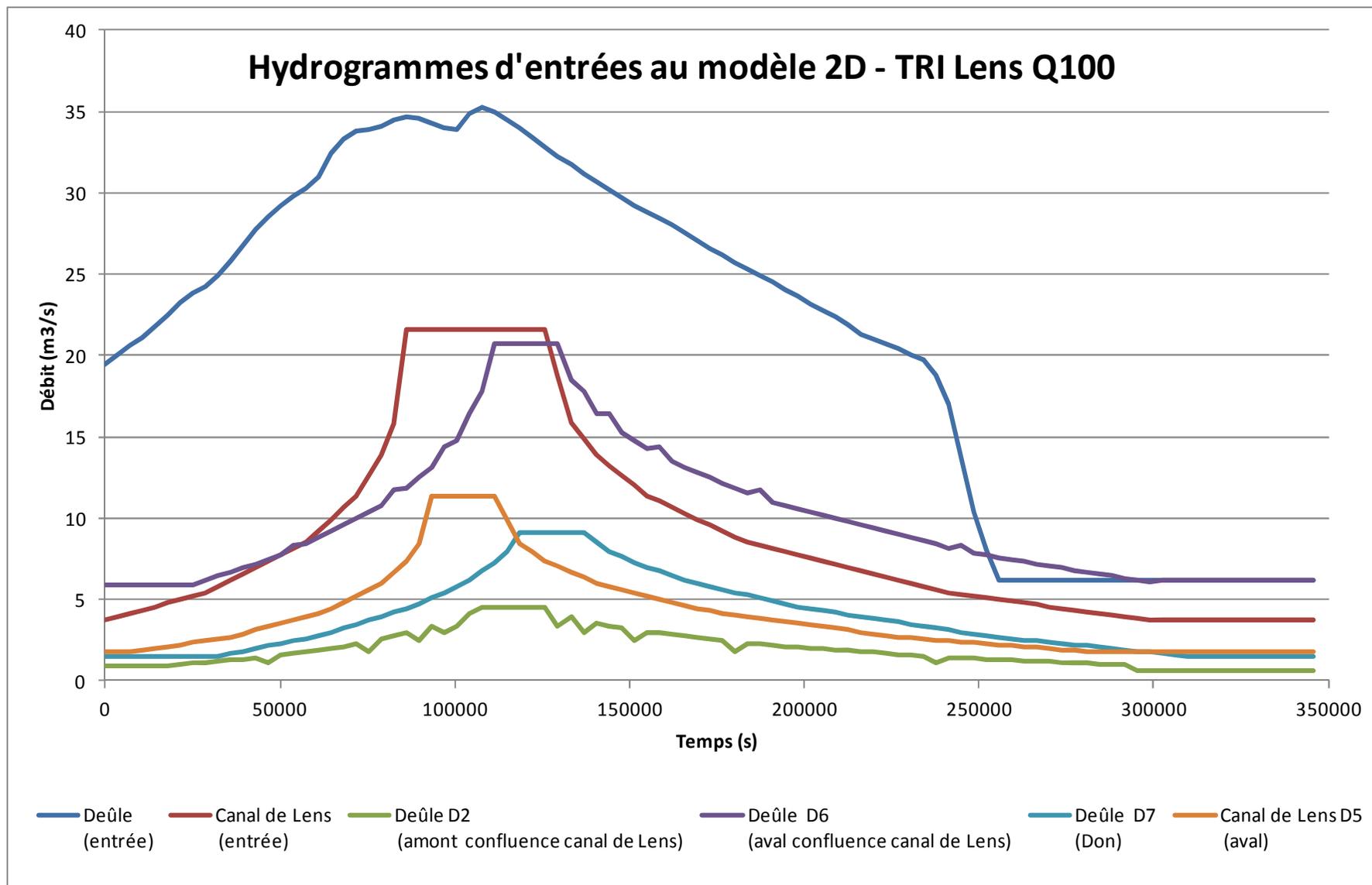
Cours d'eau	10 ANS	100 ANS	1000 ANS
Deûle (entrée)	19.5	35.3	41.9
Canal de Lens (entrée)	12.2	21.6	46.4
Deûle D2 (amont confluence canal de Lens)	9.5	4.6	51.8
Deûle D6 (aval confluence canal de Lens)	12.3	20.7	39.6
Deûle D7 (Don)	5.5	9.1	18.3
Canal de Lens D5 (aval)	6.6	11.3	23.6

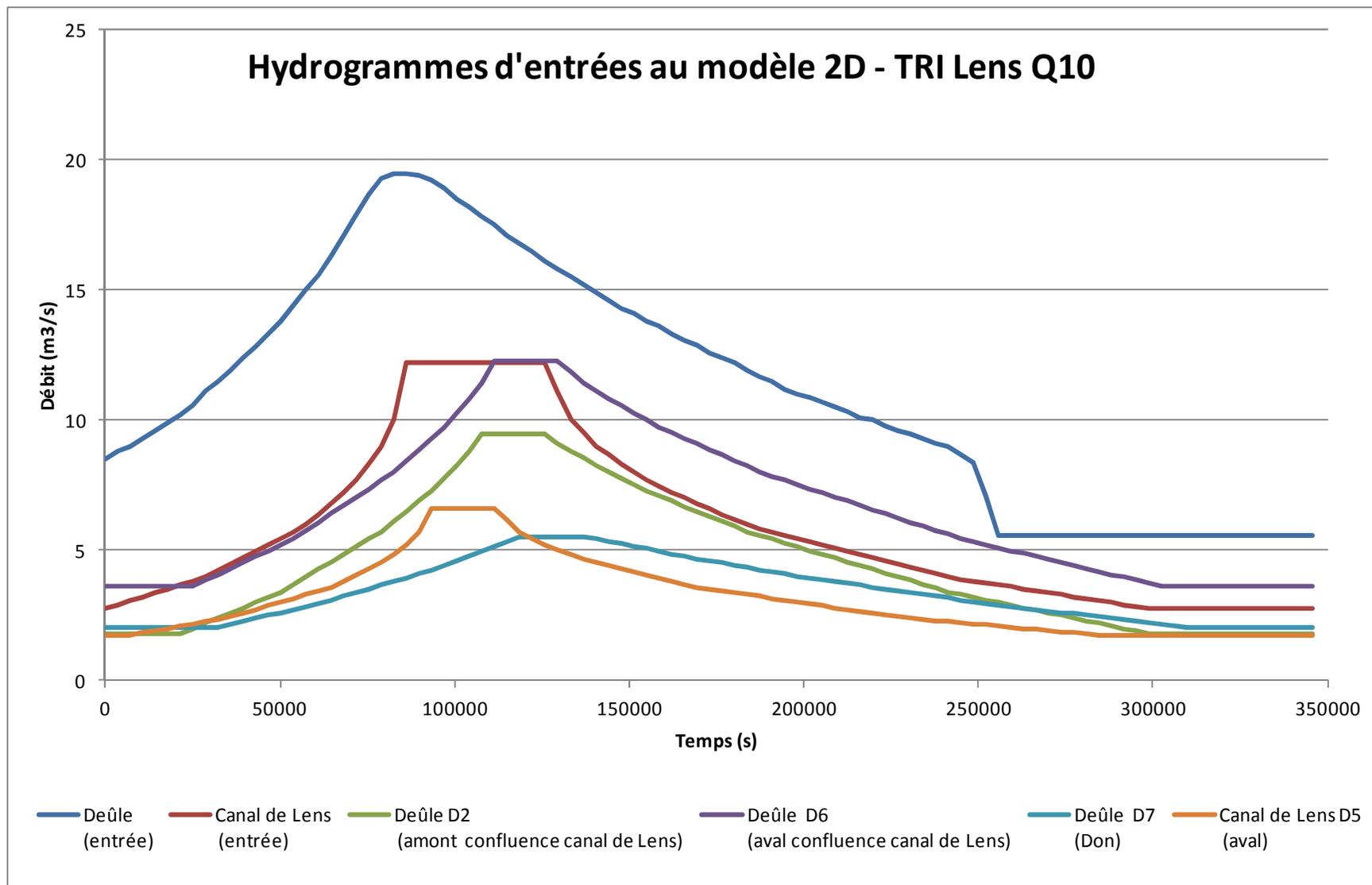
Les hydrogrammes sont présentés dans les 3 figures suivantes.

On notera que les hydrogrammes d'entrée sur la Deûle, issus de l'étude sur le TRI de Douai, avaient des valeurs de débits négatifs sur les dernières heures. Cette rupture de pente vers la fin des hydrogrammes est due à l'arrêt des hydrogrammes d'injection. Le débit diminue ainsi progressivement jusqu'à des valeurs nulles. Les quelques valeurs négatives sont à considérer comme nulles et ne correspondent en aucun cas à des retours de débits de la Deûle vers la Scarpe. Nous avons choisi de remplacer ces débits négatifs par des valeurs de débits constants qui nous semblaient cohérents.

On notera aussi que le débit au point D2 sur la Deûle (issu de l'étude DHE) est plus fort en crue décennale qu'en crue centennale, ce que nous ne comprenons pas.







### **B- Condition à la limite avale**

En limite avale du modèle, un niveau d'eau constant de plein bord a été paramétré. Cette condition limite peut influencer le niveau d'eau sur un faible linéaire en amont, mais qui est hors zone TRI à cartographier.

### **C- Condition initiale**

En démarrage de simulation, le lit majeur est considéré comme sec et le lit mineur comme étant mouillé. Afin de permettre au modèle de se lancer, une hauteur de 50 cm a été initialement injectée dans tout le lit mineur. Cette condition initiale n'influence pas les résultats de maximum de hauteur d'eau et répond bien à la problématique de l'étude.

### **D- Pas de temps de calcul**

Le pas de temps de calcul a été pris égal à 1s, ce qui permet d'avoir un compromis entre un modèle stable et des temps de calculs raisonnables (entre 3 et 4 jours par simulation sur ordinateur haute-performance).

## **4.II.4 Rendus et analyse du modèle 2D sur le TRI de Lens**

Nous avons fait tourner le modèle hydraulique 2D pour les trois scénarii : Q10, Q100 et Q1000.

### **4.II.4.1 Atlas cartographique**

Les résultats du modèle 2D ont été post-traités avec le logiciel de post-traitement FUDAA et nous a permis d'extraire la valeur maximale de hauteur d'eau pour chacune des mailles de calcul, puis nous avons exporté ces valeurs au format SIG afin d'effectuer la cartographie.

Un atlas au 1/25000<sup>ème</sup> a été produit (format PDF A3) et est présent en annexe du rapport. La légende utilisée, présentée sur la figure suivante est celle imposée par la Directive Inondation

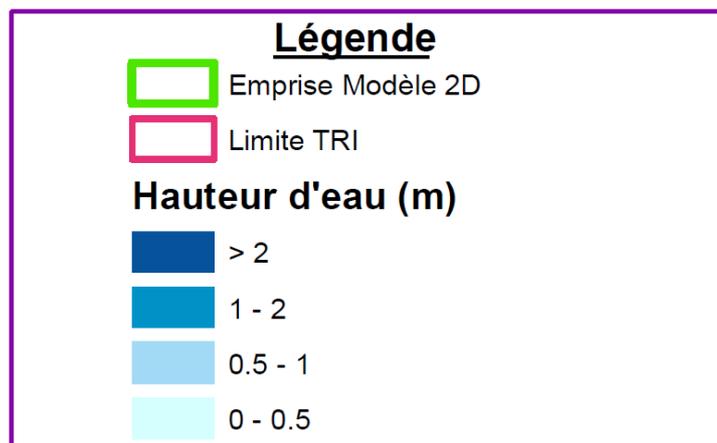


Figure 32 : légende de l'atlas cartographique

### A- Crue décennale

De manière générale, en crue décennale, il n'y a pas de débordement ni du canal de Lens, ni de la Deûle. Néanmoins, on note quelques débordements très localisés.

Le canal de Lens déborde en rive droite à Noyelles-sous-Lens, où l'étang se connecte au canal, à Fouquières-les-Lens dans le centre-ville et en rive gauche, sur le chemin de Halage de Harnes.

La Deûle ne déborde pas, à part quelques connexions avec des darses et marais : les Asturies à Aubry, marais Delaby à Courcelles-les-Lens, rue du Rivage à Noyelles-Godault, marais de Meurchin.

A l'aval de la diffuence avec le canal d'Aire, on remarque le lit majeur rive gauche inondé. Cette inondation est due à des débordements un peu plus en aval (zone de Don). Il s'agit de débordements du Flot de Wingles et de la Rigole St-Martin qui sont alimentés par remous aval de la Deûle.

### B- Crue centennale

De manière générale, en crue centennale, il y a peu de débordement du canal de Lens et de la Deûle.

Les zones inondées et identifiées pour la crue décennale au paragraphe précédent sont inondées en crue centennale. On note une extension de l'inondation sur Fouquières-les-Lens et marais Delaby à Courcelles-les-Lens.

Quelques nouvelles zones inondées apparaissent, avec des débordements de la Deûle au niveau de Douai/Flers-en-Escrebieux au sud de la rocade, la zone du marais du Forest à Aubry/Elvin-Malmaison, connexion de l'étang à Meurchin.

## C- Crue millénale

De manière générale, en crue millénale, il y a des débordements du canal de Lens et de la Deûle, principalement sur les parties amont de ces deux cours d'eau.

Les zones inondées et identifiées pour la crue centennale au paragraphe précédent voient leurs emprises et/ou hauteur d'eau augmentées en crue millénale. C'est le cas notamment sur Fouquières-les-Lens, Flers-en-Escrebieux et Aubry.

De nouvelles zones inondées apparaissent, avec des débordements du canal de Lens importantes en rive gauche au niveau de Loison-sous-Lens ; des débordements importants de la Deûle en rive gauche au niveau de Flers-en-Escrebieux ; de légers débordements de la Deûle en rive droite un peu en aval de la confluence avec le canal de Lens.

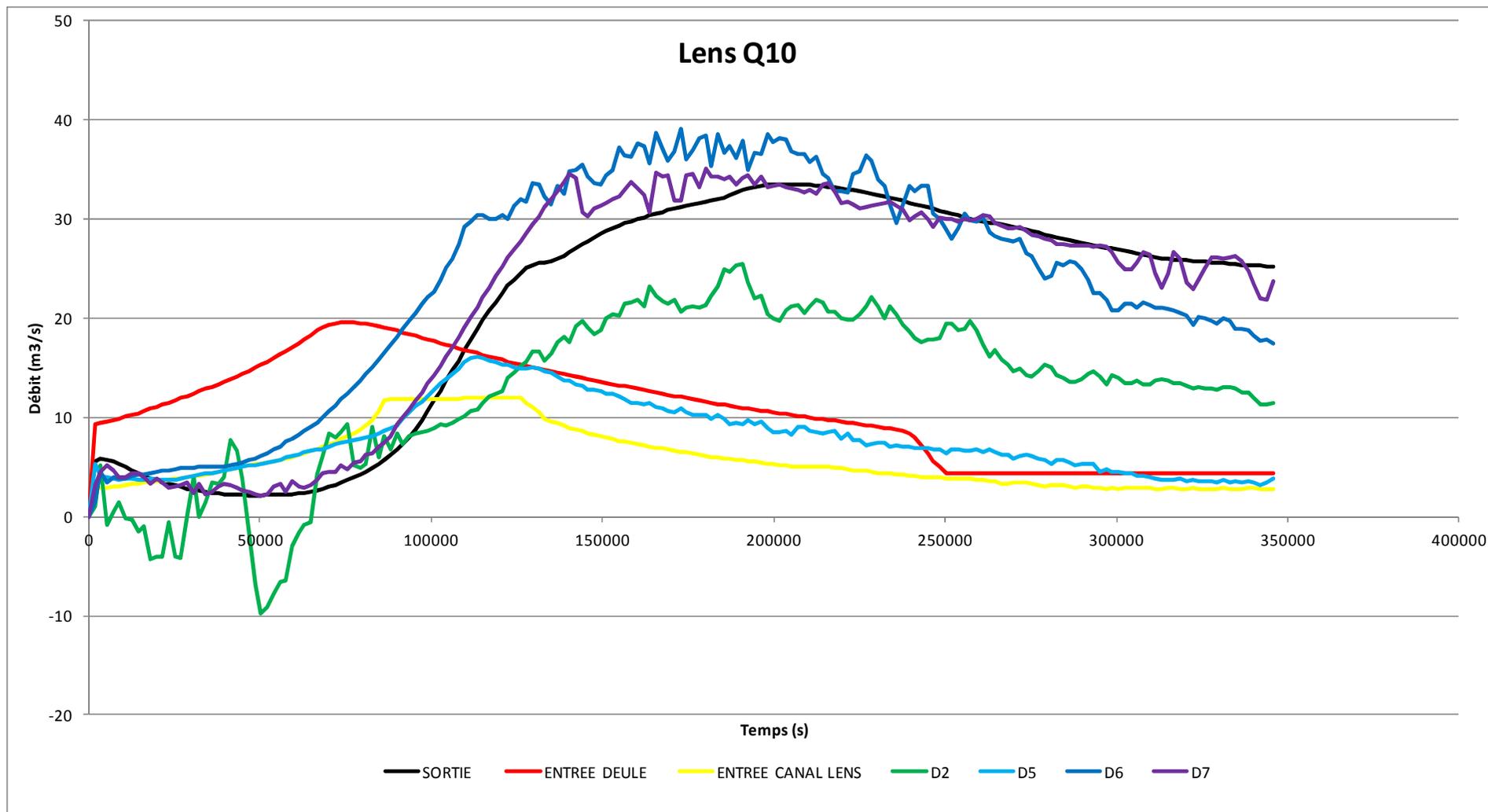
### 4.II.4.2 Hydrogrammes en sortie de modèle 2D

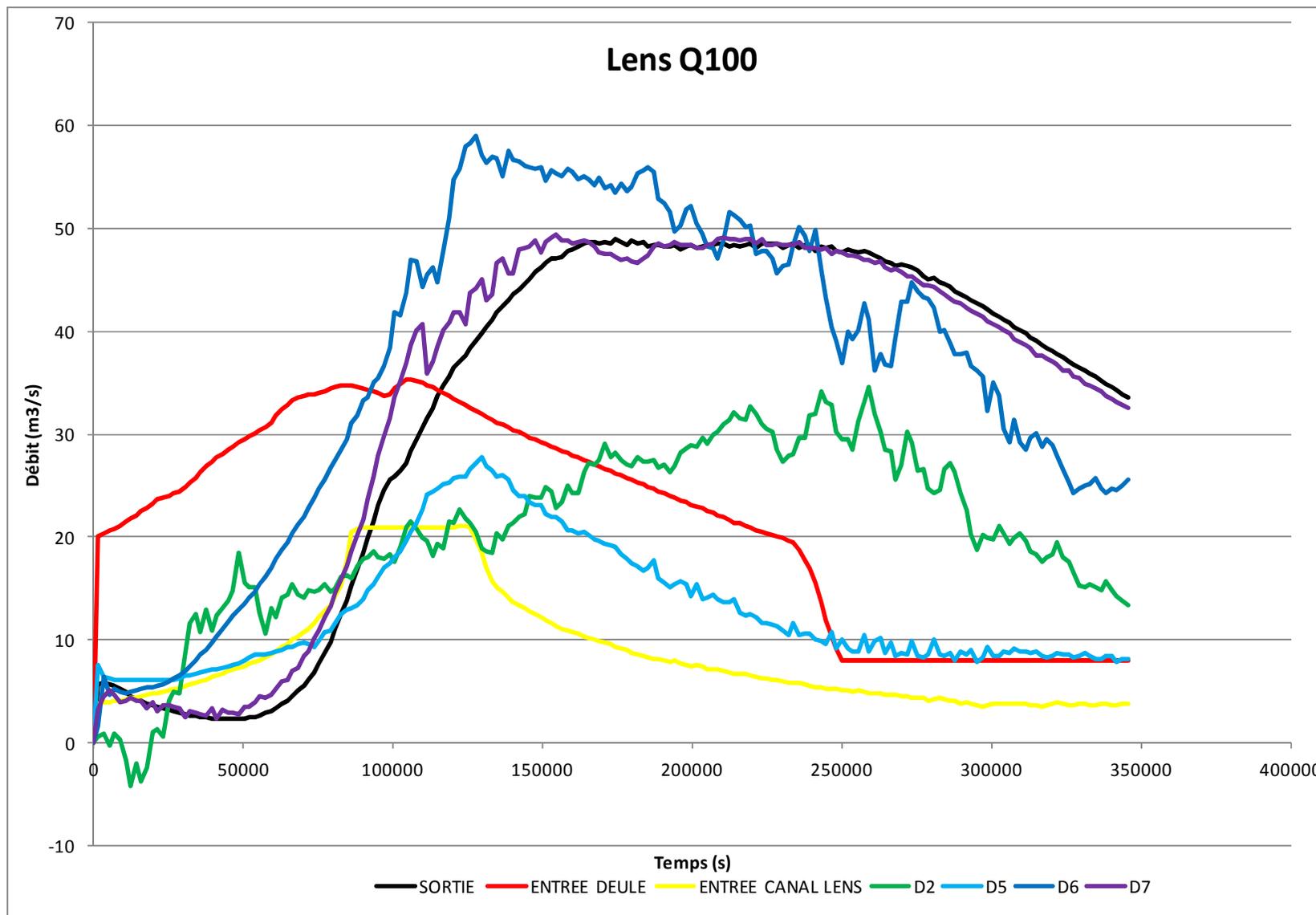
Nous avons extrait le débit calculé au cours du temps (hydrogramme) de la simulation du modèle 2D en 7 points : au niveau des conditions limites amont et aval (entrée Deûle, entrée canal de Lens et sortie Deûle), ainsi qu'au niveau des apports latéraux (D2, D5, D6, D7).

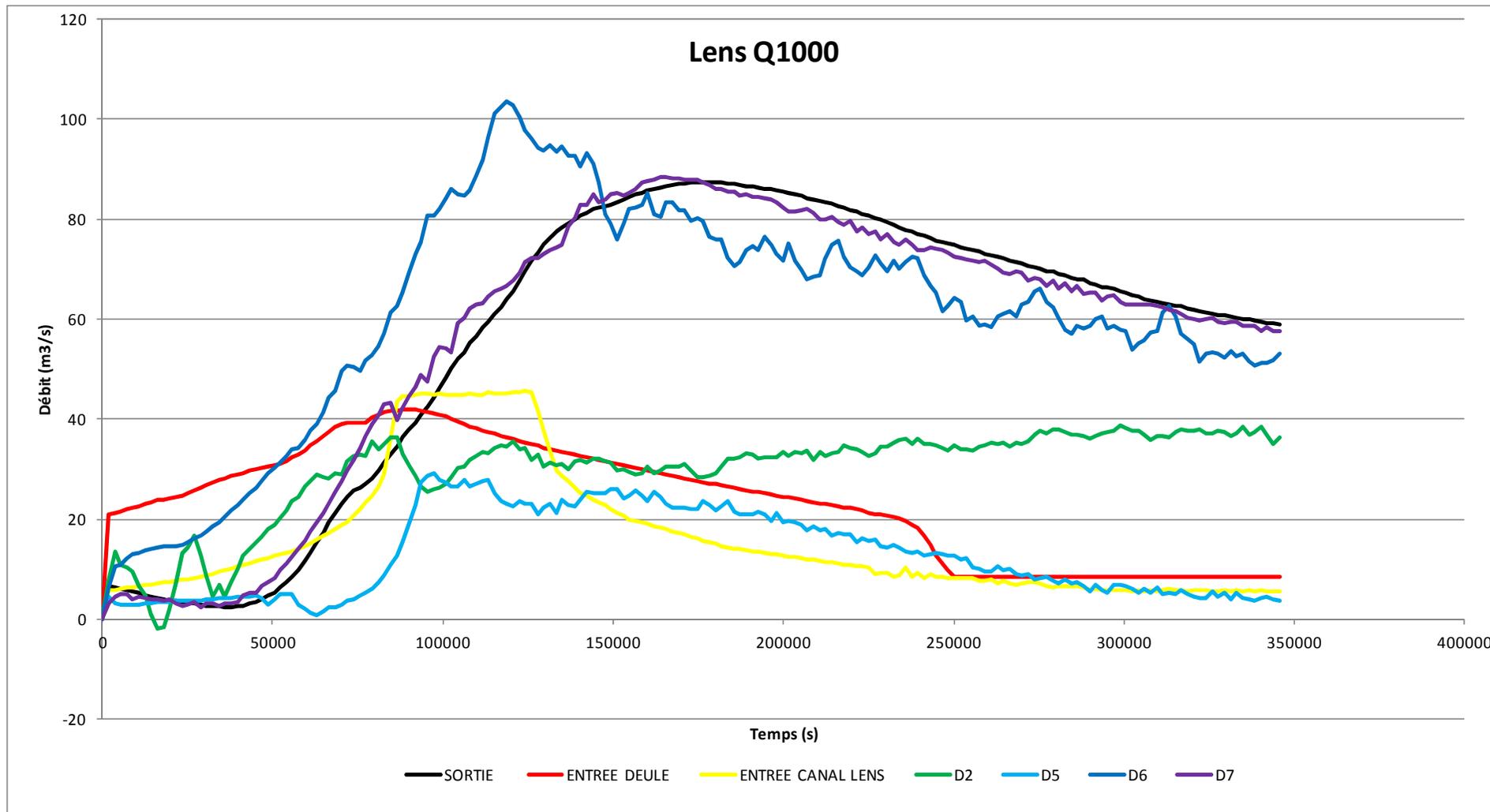
Le tableau ci-dessous présente les débits maximums atteints pour chacun de ces hydrogrammes, puis les hydrogrammes sont présentés sur les pages qui suivent.

Tableau 6 : Tableau des débits maximums (m<sup>3</sup>/s) atteints en différents points sur le TRI de Lens

Cours d'eau	10 ANS	100 ANS	1000 ANS
Deûle (entrée)	19.6	35.3	41.9
Canal de Lens (entrée)	11.9	21.1	45.5
Deûle D2 (amont confluence canal de Lens)	25.4	34.6	38.8
Deûle D6 (aval confluence canal de Lens)	39.0	59.0	103.5
Deûle D7 (Don)	35.1	49.4	88.4
Canal de Lens D5 (aval)	16.1	27.8	29.1
sortie	33.5	48.9	87.4







De manière générale, on remarque que les hydrogrammes comportent des instabilités numériques, qui sont pour la plupart inférieures à 10% du débit maximum pour chaque hydrogramme, ce qui est classiquement accepté en modélisation hydraulique.

Concernant les premières heures de simulations, on retrouve sur les hydrogrammes des valeurs « chaotiques » qui correspondent à la phase d'initialisation du modèle avec la prise en compte des hauteurs d'eau initiales, l'attente d'arrivée du débit et la stabilisation de la ligne d'eau.

On rappelle que pour la problématique de cette étude de cartographie des zones inondables, seules les maximums ont été exploités et utilisés. Les temps de submersion, montée de crue et décrue n'ont pas été étudiés.

## **4.III Modèle hydraulique 2D sur le TRI de Lille**

### **4.III.1 Construction du modèle 2D**

#### **4.III.1.1 Délimitation de la zone d'étude**

La zone d'étude comprend un linéaire identique à celui du modèle 1D :

- La limite amont du canal de la Deûle correspond à l'amont du Bras de Don ;
- La limite amont de la Lys correspond à l'écluse d'Armentières ;
- La limite aval correspond à l'écluse de Menin.

Concernant la largeur du modèle, les plus hautes eaux générées par une crue de période de retour supérieure ou égale à 1000 ans doivent être incluses dans la zone.

La délimitation de la zone est donc basée sur :

- L'analyse topographique du secteur ;
- Le lit majeur déterminé par l'étude géomorphologique.

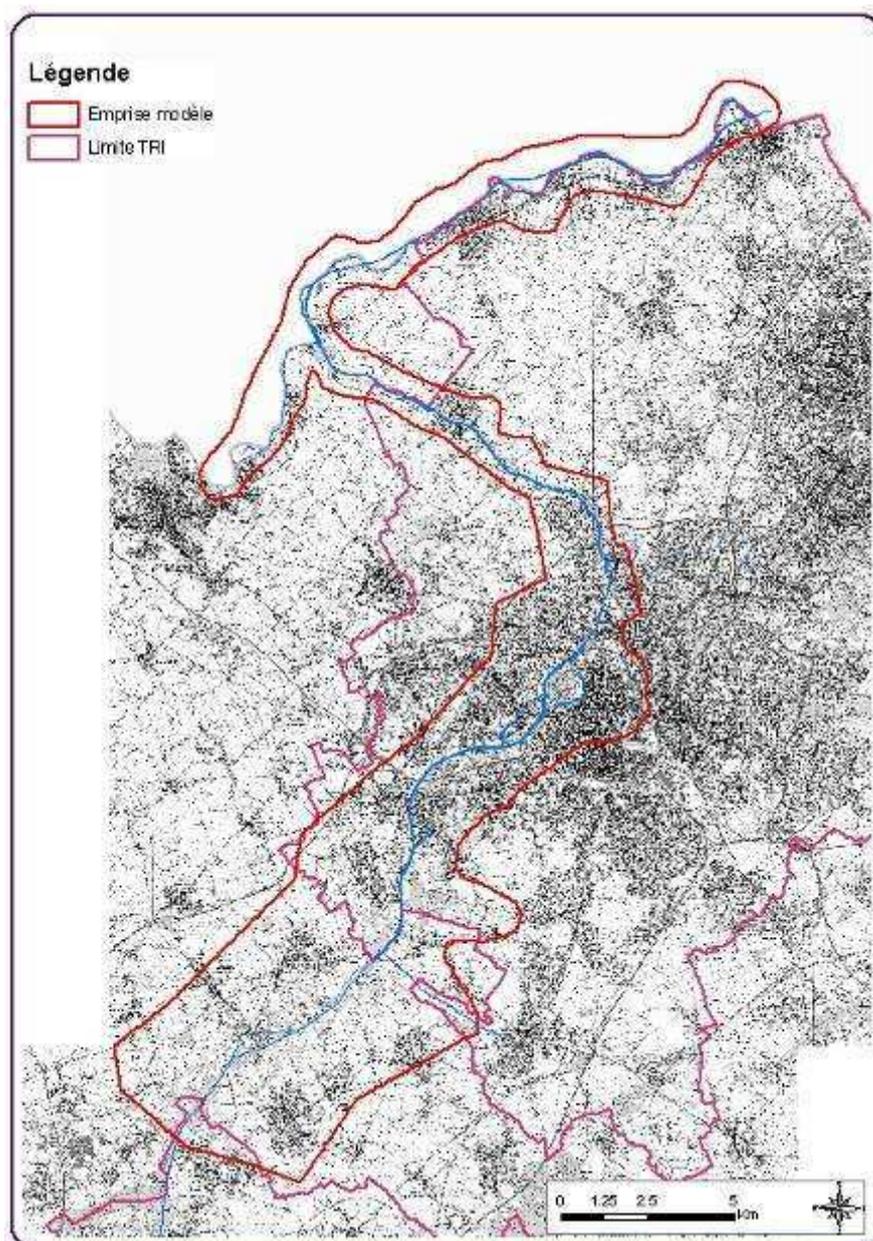


Figure 33 : Délimitation de la zone d'étude

#### 4.III.1.2 Données topographiques

##### ■ Le lit majeur

Les données initiales Lidar sont sous forme de plusieurs fichiers .csv. Ces fichiers sont localisés spatialement sur Arcgis (en lambert 93) et les différents fichiers .csv compris dans la zone d'étude sont identifiés.

Les points sont ensuite compilés et triés de manière à obtenir un seul semis de point format ArcGis dans la zone d'étude.

Étant donné l'emprise de la zone, la précision du semis de points (tous les 5m) est trop importante et cela ne permet pas de manipuler correctement les données. Le semis de points est donc légèrement simplifié pour obtenir un point tous les 10 mètres.

La méthodologie appliquée est la suivante :

Données de base : Dalles 5 m format txt → dalles 5m format ArcGis → combinaison des dalles pour obtenir un semis de points global sur la zone → interpolation d'un MNT 5m à partir du semis de points → simplification du MNT à 10m → comparaison des 2 MNT et analyse de la dégradation → extraction d'un semis de points à 10m à partir du MNT 10m

La figure ci-dessous présente la méthodologie d'utilisation des données topographiques en lit majeur.

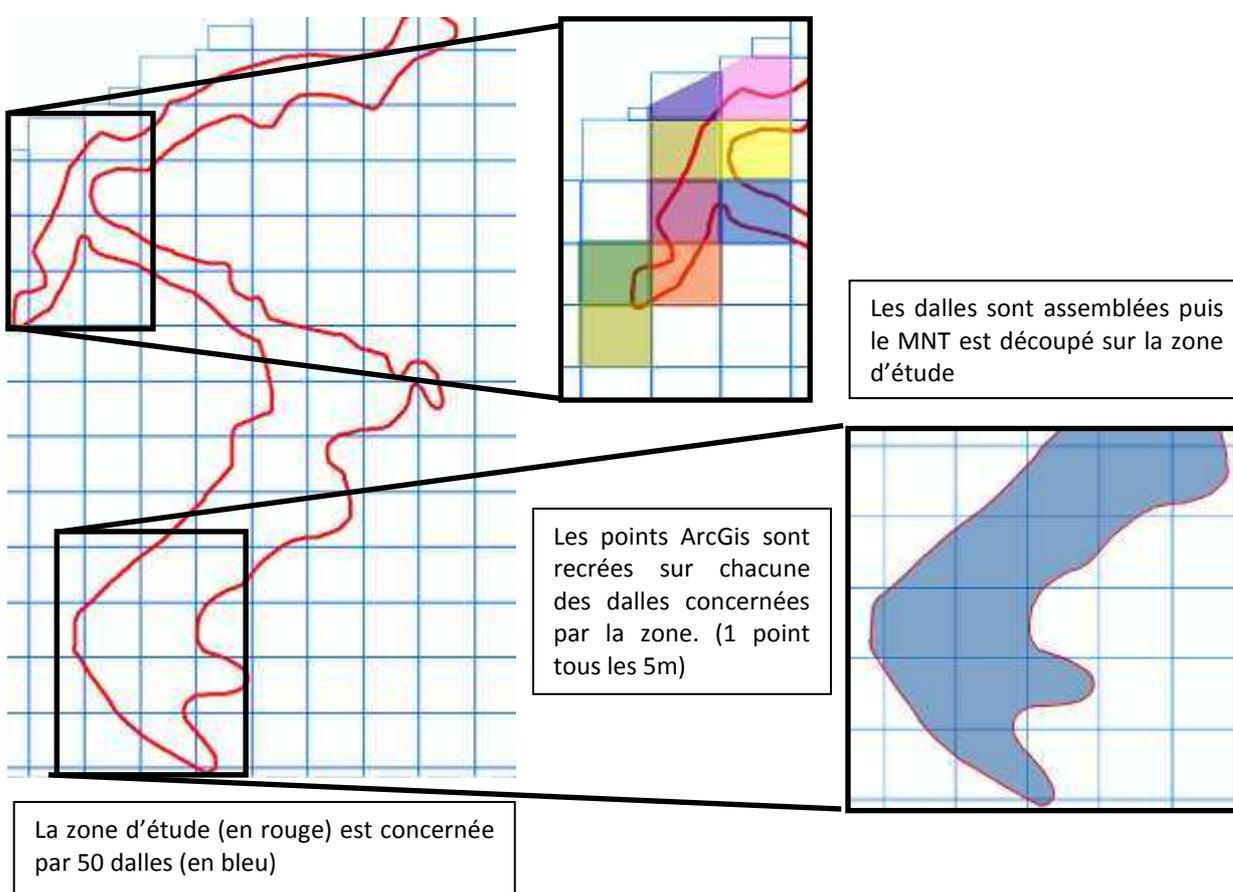


Figure 34 : Mise en forme des données MNT Lidar

Le fait de diminuer le nombre de points topographique permet d'obtenir un semis de points plus facile à manipuler. Cependant, cela génère un peu de perte d'information.

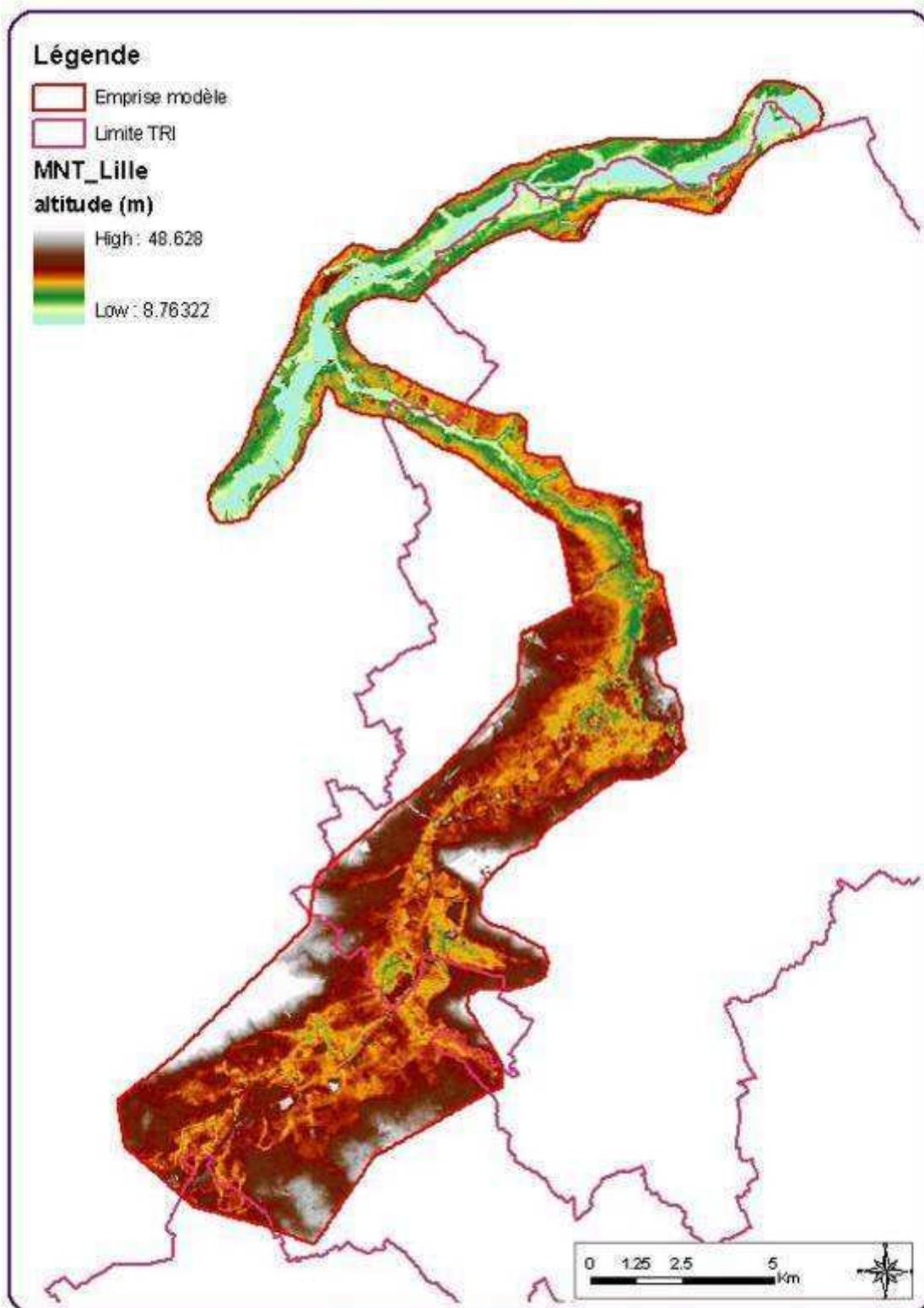


Figure 35 : Topographie du lit majeur sur l'emprise du modèle hydraulique 2D du TRI Lille

## ■ Le lit mineur

Les données d'entrée du lit mineur sont la bathymétrie réalisée par VNF. Ces données sont sous forme de fichiers de points txt en Lambert zone 1. Il s'agit de semis de points espacés de 0.5 m.

Les fichiers utilisés sur la zone d'étude sont les suivants :

- Aval écluse Quesnoy
- Épuration Séquedin grand carré
- Amont écluse Marquette
- Aval écluse Marquette
- Deulemont Comines
- Écluse Armentières confluence Deule amont
- Grand carré Quesnoy
- Écluse de Don \_ Pont de Séquedin
- Beauvin Cuinchy ensemble
- Pont de Beauvin\_Ecluse de don\_Gare d'eau
- Comines Menin part1
- Comines Menin part2
- Epuration Quesnoy Confluence
- Menin\_halluin

Les points sont créés sur ArcGis, puis reprojetés en Lambert 93, de manière à avoir la même projection que celle du lit majeur.

De manière à rendre les données manipulables, nous n'avons conservé que les points au centre du lit mineur et en pied de berge.

Des données bathymétriques sont manquantes sur des petits linéaires de cours d'eau et des points sont alors ajoutés à la main en fonction de l'élévation de la bathymétrie de part et d'autre et des informations tirées du modèle 1D.

Les données sont localisées sur la figure ci-dessous :

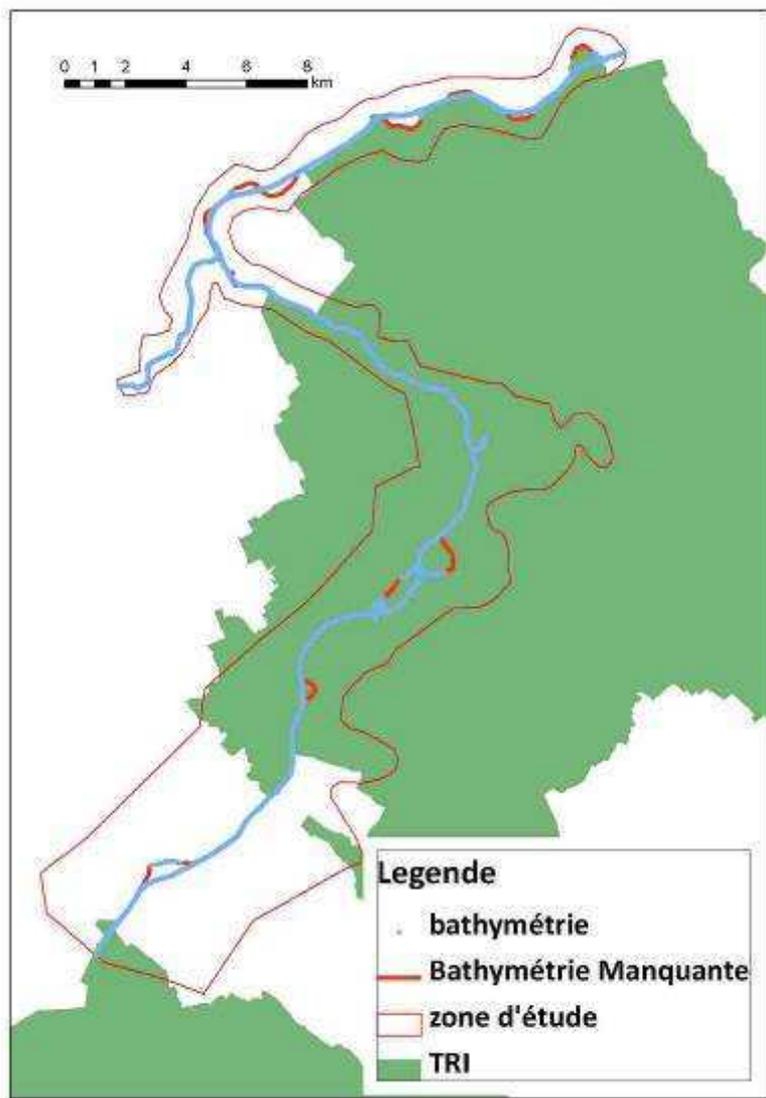


Figure 36 : Les données topographiques en lit mineur

#### 4.III.1.3 Réalisation du maillage sur Bluekenue

L'objectif du maillage 2D est de réaliser une représentation précise de la réalité avec un nombre de mailles limité, au maximum 300 000 (limitation numérique). A ce titre, des zones d'importance sont identifiées, sur lesquelles un maillage plus précis est réalisé. Ces zones sont :

- Le lit mineur du cours d'eau
- Les ouvrages de transparence hydrauliques qui constituent des axes d'écoulements
- Les obstacles à l'écoulement tels que les routes, voies de chemin de fer, plateformes surélevées...

On compte sur le secteur d'étude de nombreux ouvrages transversaux et longitudinaux susceptibles d'influencer les écoulements (remblais routiers, franchissements, faisceaux ferrés....).

Les impacts possibles des ouvrages sur la propagation des crues ainsi que sur les zones inondées sont les suivants :

- ✓ Effet global d'atténuation de l'onde de crue vers l'aval :

Phénomène de laminage de l'hydrogramme de crue par stockage potentiel d'une partie du volume de crue entrant au niveau des retenues, restitué de façon différée à l'aval ;

Limitation possible du débit par les arches et radiers des franchissements routiers, par stockage potentiel d'une partie du volume en amont des obstacles, restitué de façon différée à l'aval ;

- ✓ Effet local d'aggravation des zones inondées en amont des obstacles par stockage d'une partie du volume de crue ;

### ■ **Prise en compte des remblais**

Les obstacles à l'écoulement sont numérisés sous SIG. Ils sont ensuite intégrés au logiciel de maillage afin que les nœuds de maille soient directement localisés sur ces remblais pour les prendre en compte directement, sans interpolation entre différents points topographique.

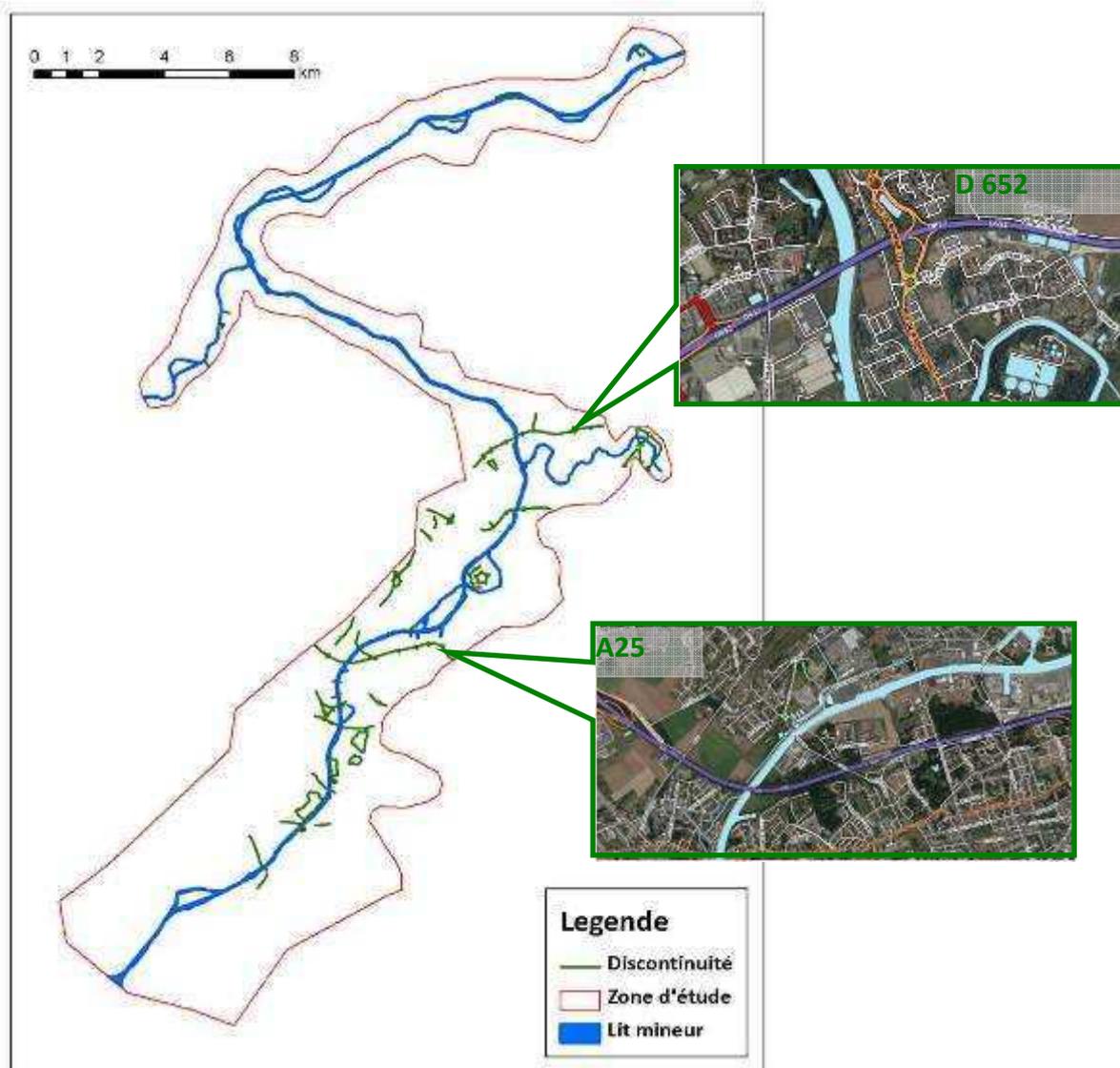


Figure 37 : Localisation des principales discontinuités

Les deux remblais principaux qui barrent le lit majeur sont l’A25 et la D652



## ■ Prise en compte des ouvrages de franchissement

De manière à bien représenter les écoulements sous les ouvrages, le MNT en lit majeur est « creusé » aux franchissements. En effet, la topographie prend en compte les points hauts des axes en remblais alors que les écoulements peuvent avoir lieu sous les ponts.

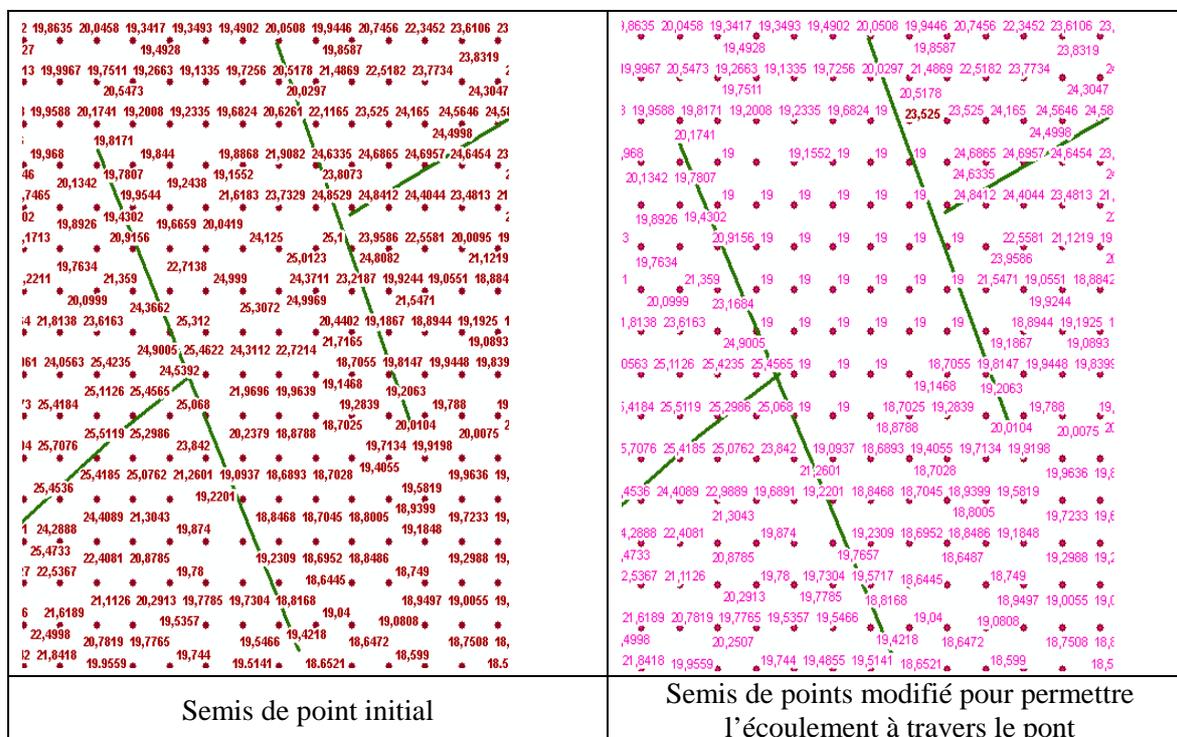


Tableau 7 : Prise en compte des ouvrages de franchissement hydraulique

## ■ Réalisation du maillage

Les paramètres du maillage sont les suivants :

- ◆ Lit majeur : mailles de 70 m<sup>2</sup>
- ◆ Lit mineur : mailles de 15 m<sup>2</sup>
- ◆ Remblais et autres « lignes dures » : mailles de 20 m<sup>2</sup>

Le nombre total de mailles est de **352 133**.

Le maillage obtenu est présenté sur la figure ci-dessous.

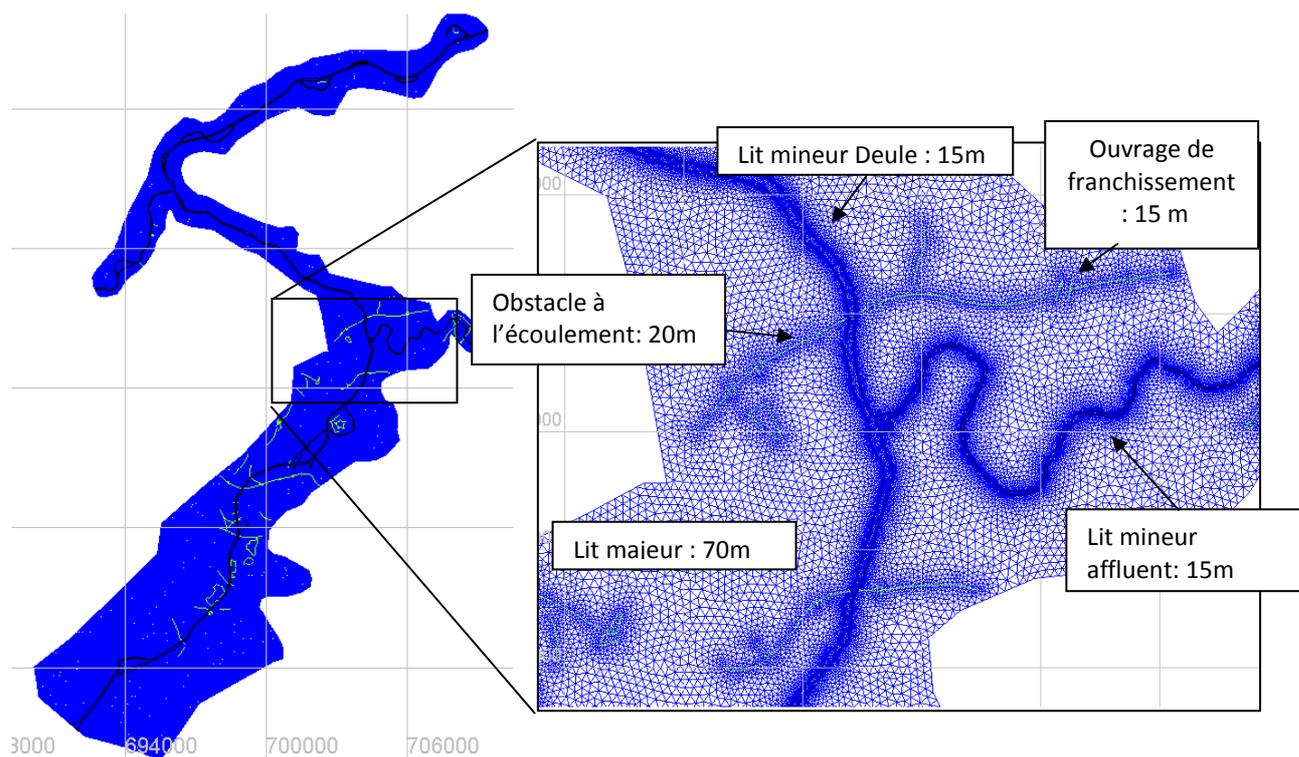


Figure 38 : Présentation du maillage

Les données topographiques sont ensuite interpolées sur le maillage présenté ci-dessus. A chaque « nœud » de maille, une cote en mNGF issue des données d'entrée topographique est attribuée. Ces cotes sont d'abord attribuées sur l'ensemble des nœuds à partir des données globales du lit majeur, puis mises à jour à partir des données bathymétriques et subissent enfin un post traitement de manière à prendre en compte les écluses.

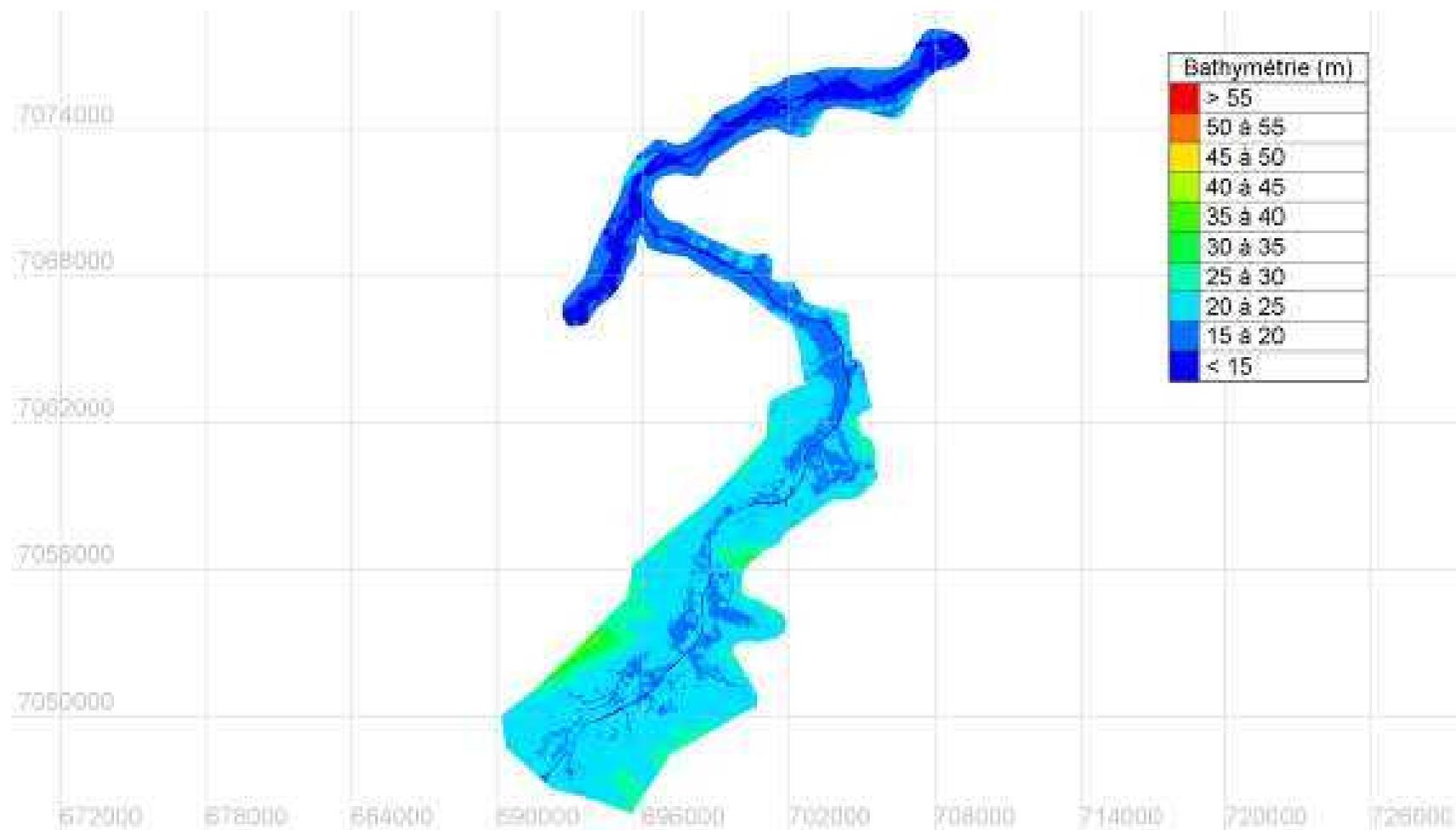


Figure 39 : Vues 2D et 3D du maillage

## ■ **Prise en compte de la rugosité**

La rugosité du fond est un paramètre important de la modélisation hydraulique. Il est basé sur l'analyse croisée des données issues :

- ◆ Du SCAN 25 ;
- ◆ Des reconnaissances de terrain ;
- ◆ De la connaissance de l'occupation des sols, disponible à partir des couches vectorielles type Corine Land Cover.

Les coefficients de rugosité sont appliqués sur le maillage dans le logiciel de prétraitement Fudaa.

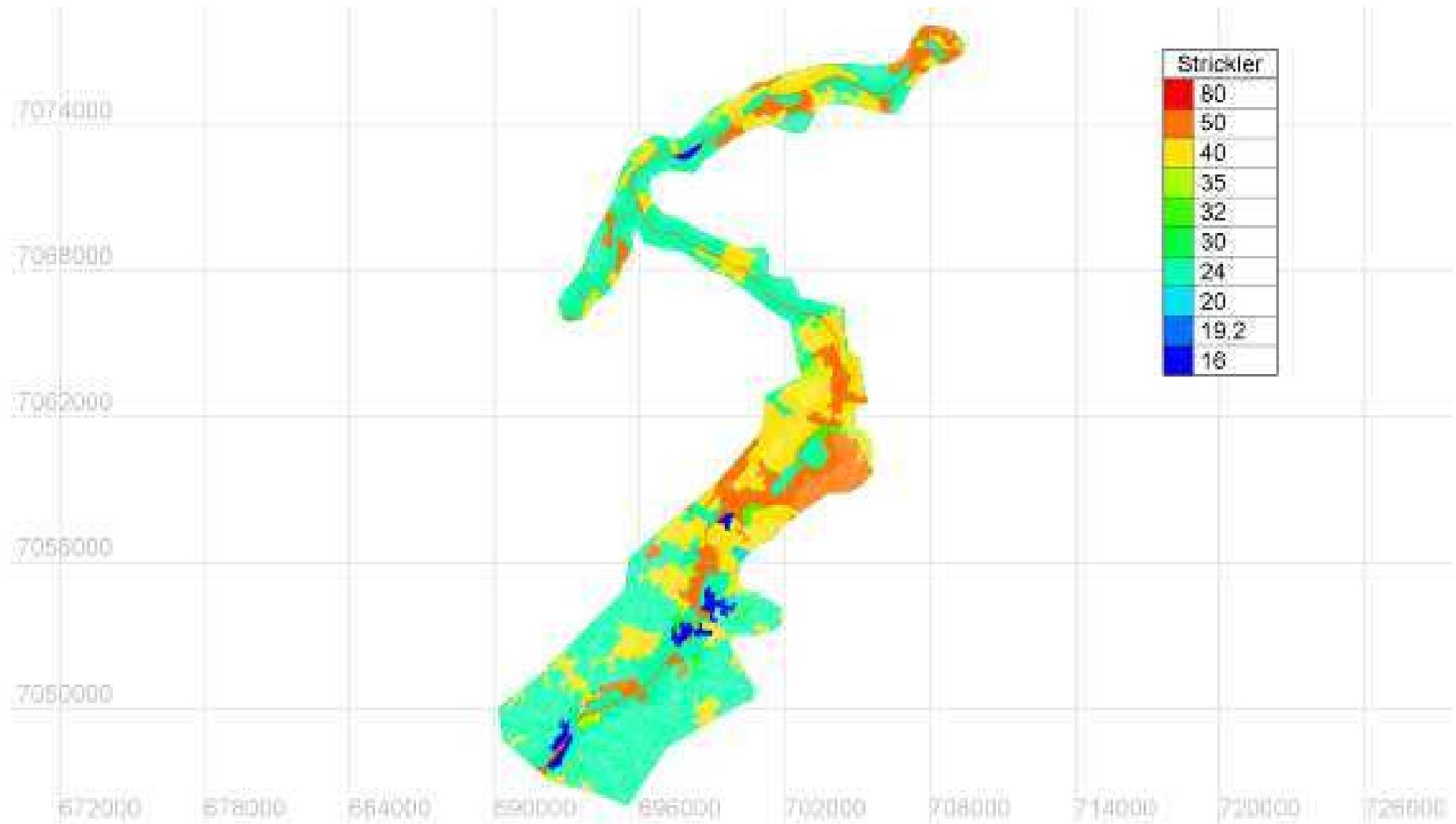


Figure 40 : Prise en compte de la rugosité

### 4.III.2 Calage du modèle 2D

Étant donné l'absence de repère de crue et les délais très courts de réalisation, aucun calage n'a été effectué.

### 4.III.3 Hydrogrammes et paramétrage du modèle

#### A- Hydrogrammes

Comme expliqué au chapitre 4.1, les hydrogrammes d'entrée au modèle hydraulique 2D sont basés sur les résultats d'autres études : TRI Douai, PPRI Marque et analyse hydrologique DHE.

L'hydrogramme d'entrée de la Deûle est celui calculé en sortie du TRI de Lens.

Le tableau suivant présente les débits de pointe associés aux hydrogrammes.

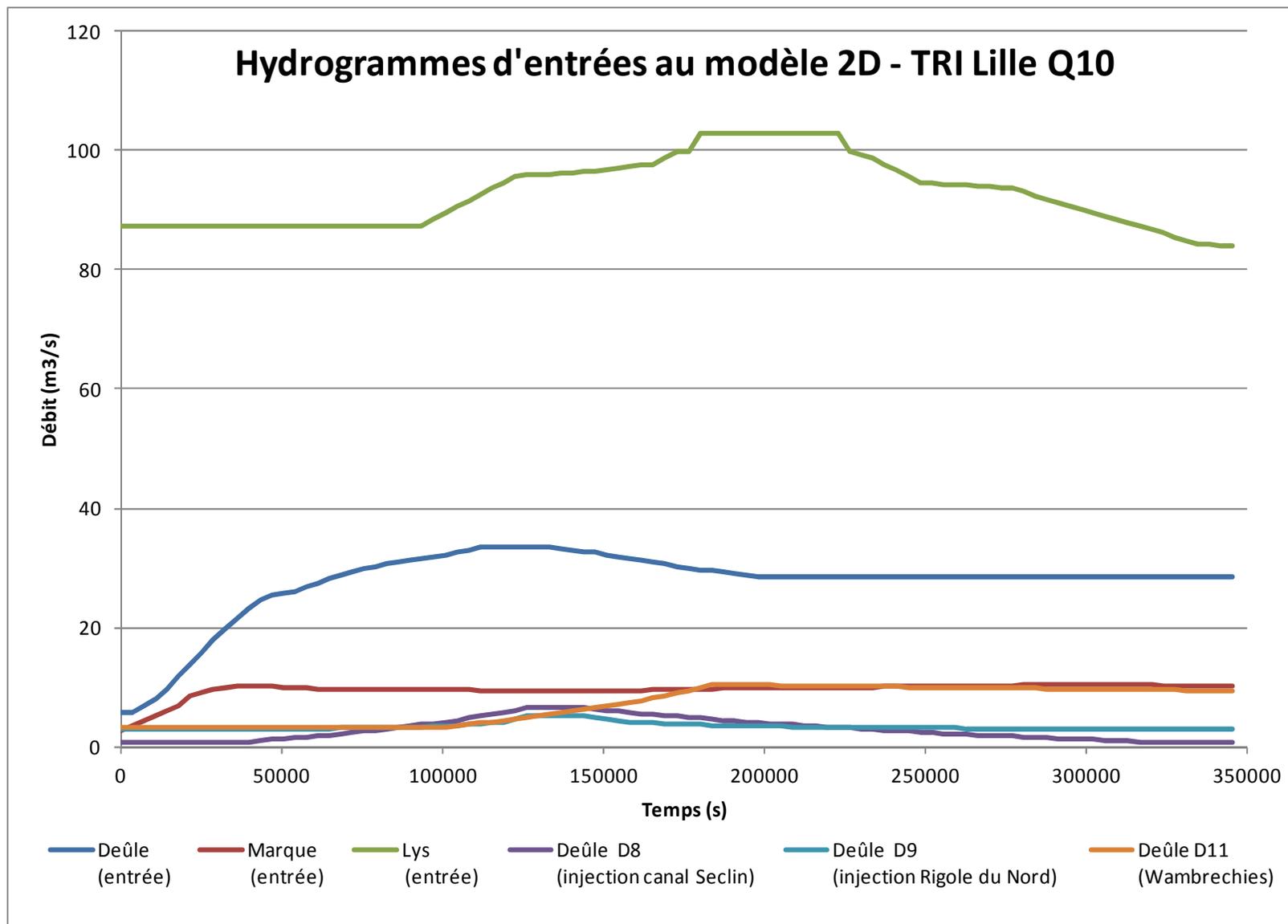
Tableau -8 : Débits de pointe des hydrogrammes du modèle 2D TRI Lille (m<sup>3</sup>/s)

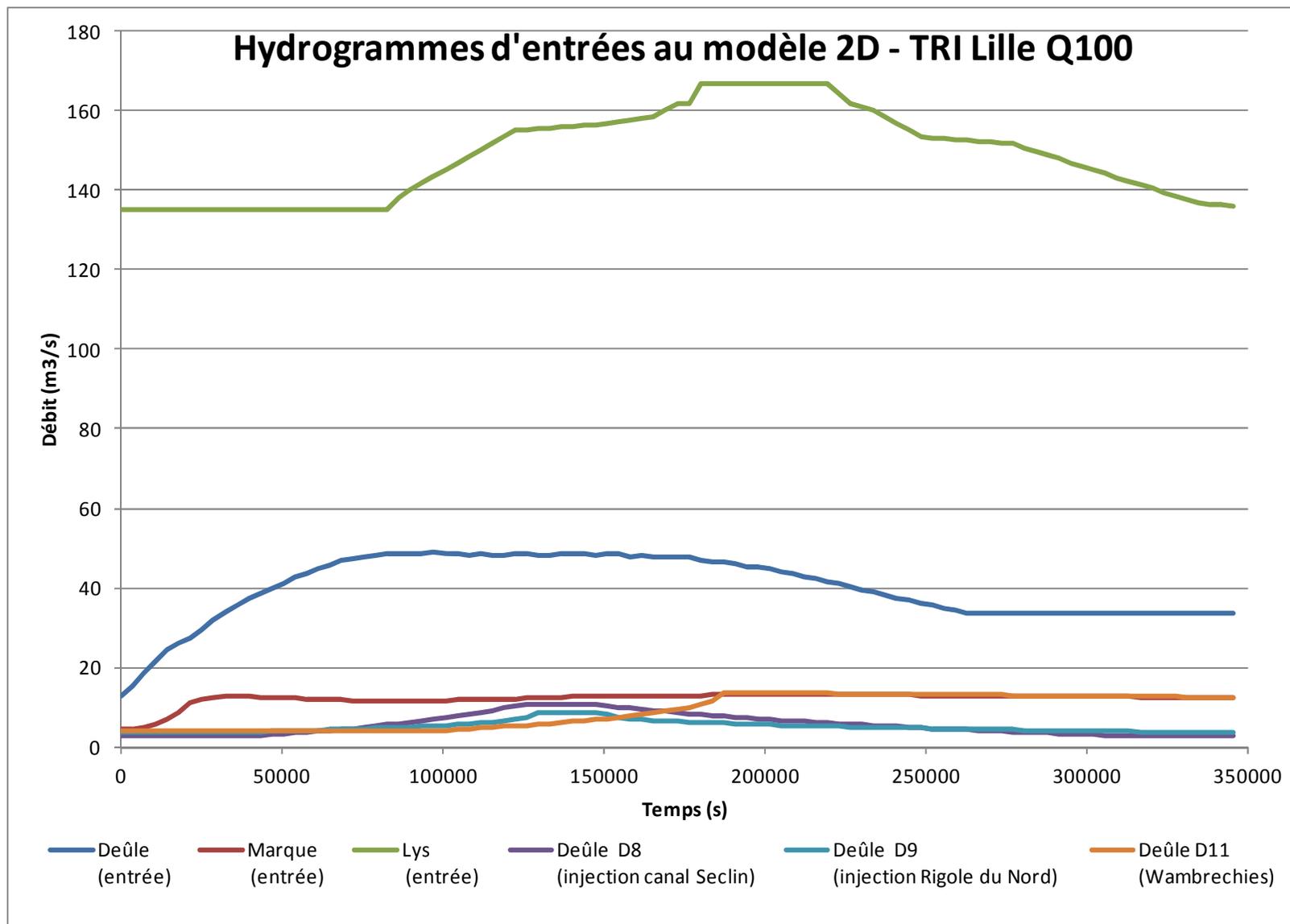
Cours d'eau	10 ANS	100 ANS	1000 ANS
<b>Deûle (entrée)</b>	33.6	48.8	88.3
<b>Marque (entrée)</b>	10.3	13.1	15.1
<b>Lys (entrée)</b>	102.9	166.7	301.5
<b>Deûle D8 (injection canal Seclin)</b>	6.5	10.9	22.1
<b>Deûle D9 (injection Rigole du Nord)</b>	5.3	8.7	17.5
<b>Deûle D11 (Wambrechies)</b>	10.3	13.5	15.1

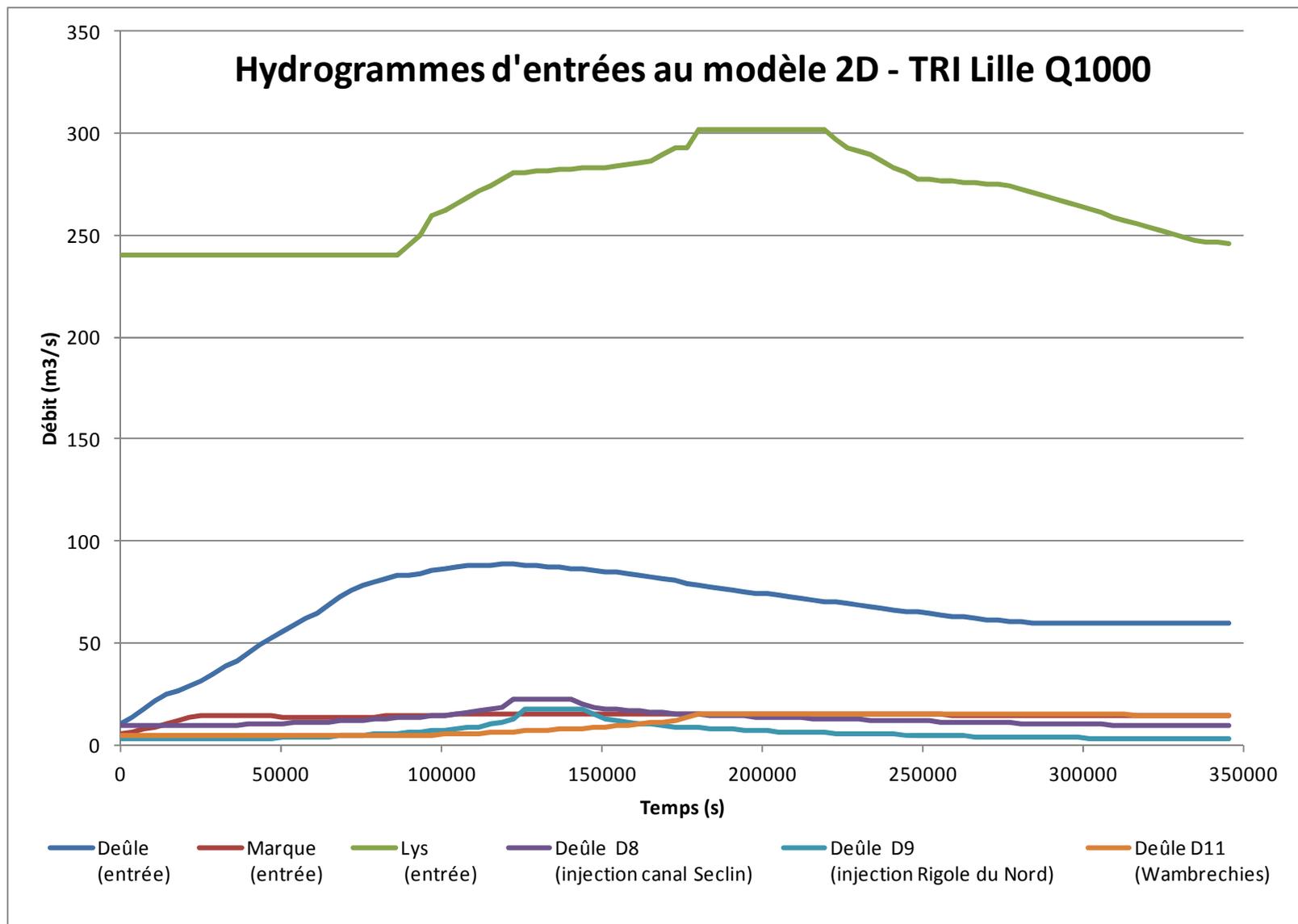
Les hydrogrammes sont présentés dans les 3 figures suivantes.

On notera que le débit en entrée de la Lys (étude DHE) est 3 à 4 fois plus élevé que celui en entrée de la Deûle (TRI Lens). La question de la pertinence de l'hydrogramme sur la Lys calculé par la méthode Shyreg peut se poser. En effet, par cette méthode les phénomènes d'inondation qui écrêtent les pics de crue ne sont pas pris en compte. Pour cette raison, les débits SHYREG ont fait l'objet de correctifs dans l'étude DHE.

Aussi, on remarque que les valeurs des débits des apports latéraux sont bien plus faibles que les débits de la Deûle.







### **B- Condition à la limite avale**

En limite avale du modèle, un niveau d'eau constant de plein bord a été paramétré. Cette condition limite peut influencer le niveau d'eau sur un faible linéaire en amont, mais qui est hors zone TRI à cartographier.

### **C- Condition initiale**

En démarrage de simulation, le lit majeur est considéré comme sec et le lit mineur comme étant mouillé. Afin de permettre au modèle de se lancer, une hauteur de 50 cm a été initialement injectée dans tout le lit mineur. Cette condition initiale n'influence pas les résultats de maximum de hauteur d'eau et répond bien à la problématique de l'étude.

### **D- Pas de temps de calcul**

Le pas de temps de calcul a été pris égal à 1s, ce qui permet d'avoir un compromis entre un modèle stable et des temps de calculs raisonnables (entre 3 et 4 jours par simulation sur ordinateur haute-performance).

## **4.III.4 Rendus et analyse du modèle 2D sur le TRI de Lens**

Nous avons fait tourner le modèle hydraulique 2D pour les trois scénarii : Q10, Q100 et Q1000.

### **4.III.4.1 Atlas cartographique**

Les résultats du modèle 2D ont été post-traités avec le logiciel de post-traitement FUDAA et nous a permis d'extraire la valeur maximale de hauteur d'eau pour chacune des mailles de calcul, puis nous avons exporté ces valeurs au format SIG afin d'effectuer la cartographie.

Un atlas au 1/25000<sup>ème</sup> a été produit (format PDF A3) et est présent en annexe du rapport. La légende utilisée, présentée sur la figure suivante est celle imposée par la Directive Inondation

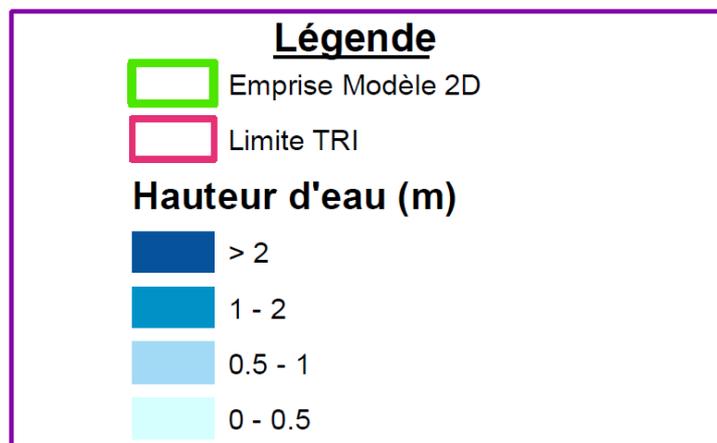


Figure 41 : légende de l'atlas cartographique

A noter que l'atlas cartographique inclut les zones inondables issues de l'étude PPRI Marque menée par Artélia.

#### A- Harmonisation des résultats de la Marque

Pour le TRI de Lille, nous avons pour mission d'harmoniser les cartographies des zones inondables sur la Marque issues du PPRI de la Marque (Artélia) avec les résultats de notre modèle hydraulique 2D.

Les résultats du PPRI de la Marque étaient qu'il n'y a aucun débordement de la Marque canalisée pour une crue millénale. Sur le faible linéaire de la Marque aval inclus dans notre modèle hydraulique 2D TRI Lille, la Marque ne déborde pas pour une crue millénale.

Les cartographies des zones inondables issues des études PPRI Marque et TRI Lille sont donc en accord sur leur zone commune : la Marque canalisée ne déborde pas pour une crue millénale (et donc décennale et centennale).

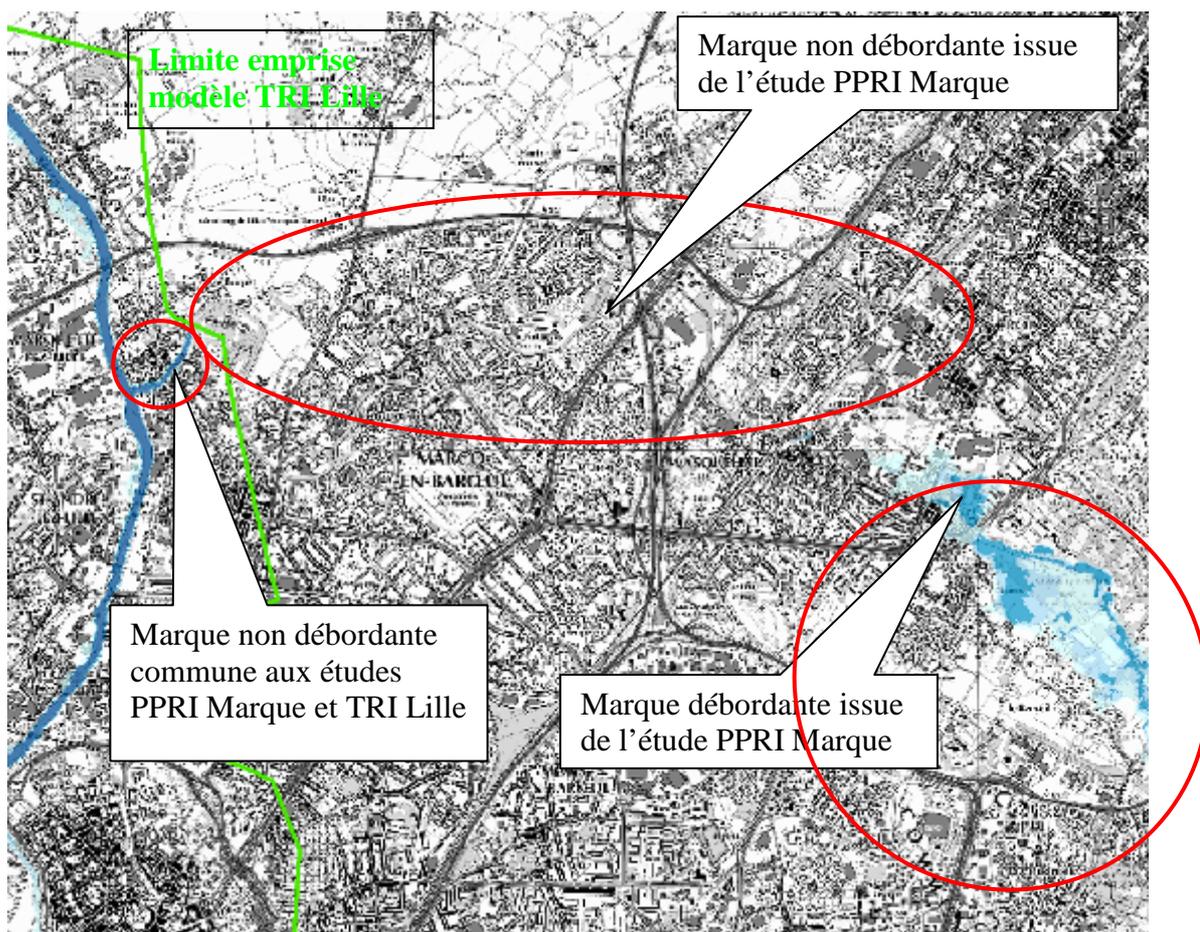


Figure 42 : zone commune aux études PPRI Marque et TRI Lille

## B- Crue décennale

De manière générale, en crue décennale, il n'y a pas de débordement de la Deûle, mais on peut noter quelques débordements très localisés. Il y a des débordements de la Lys, principalement en amont du TRI de Lille.

La Deûle ne déborde pas, à part quelques connexions, comme par exemple l'ancien bras naturel de la Deûle à Haubourdin, le port fluvial et le bras de Canteleu à Lille.

La Lys déborde beaucoup principalement en rive gauche en amont de la confluence avec la Deûle, et du côté belge en aval de la confluence avec la Deûle. Ces zones sont hors TRI.

## C- Crue centennale

De manière générale, en crue centennale, les débordements sont les mêmes qu'en crue décennale.

Toutefois quelques nouvelles zones inondées apparaissent, avec de faibles débordements de la Deûle au niveau Sequedin, Wambrechies et Deulémont. On observe aussi de faibles débordements de la Lys au sein du TRI sur les communes de Comines, Wervicq-Sud et Bousbecque.

#### D- Crue millénale

De manière générale, en crue millénale, il y peu de débordement de la Deûle et de la Lys qui déborde principalement à l'amont de la zone TRI.

Les zones inondées et identifiées pour la crue centennale au paragraphe précédent voient leurs emprises et/ou hauteur d'eau augmentées en crue millénale. C'est le cas notamment sur Wambrechies, Wervicq-Sud et Bousbecque.

De nouvelles zones inondées apparaissent, avec des débordements de la Deûle au niveau de la citadelle de Lille et de Quesnoy-sur-Deûle.

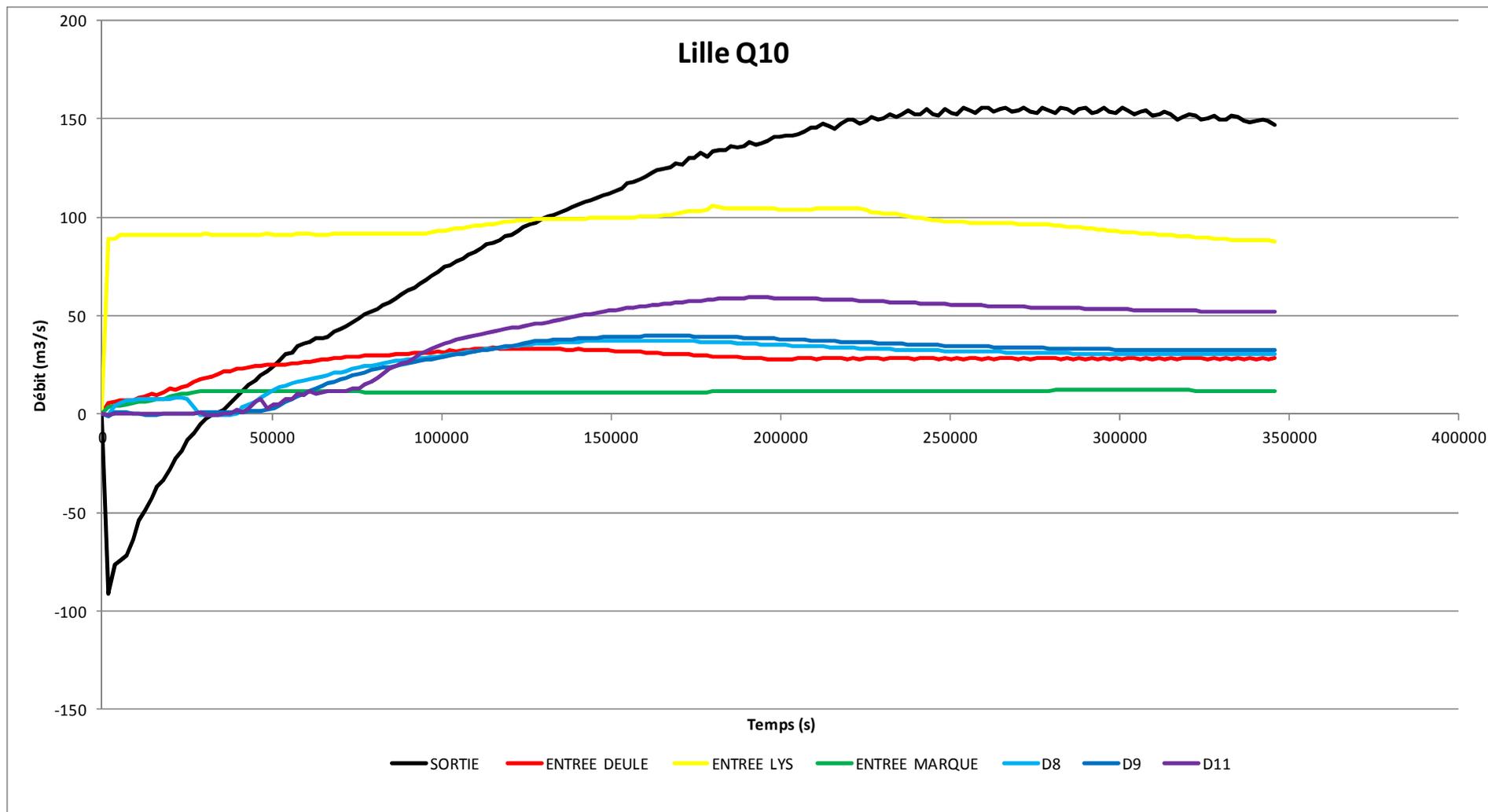
#### 4.III.4.2 Hydrogrammes en sortie de modèle 2D

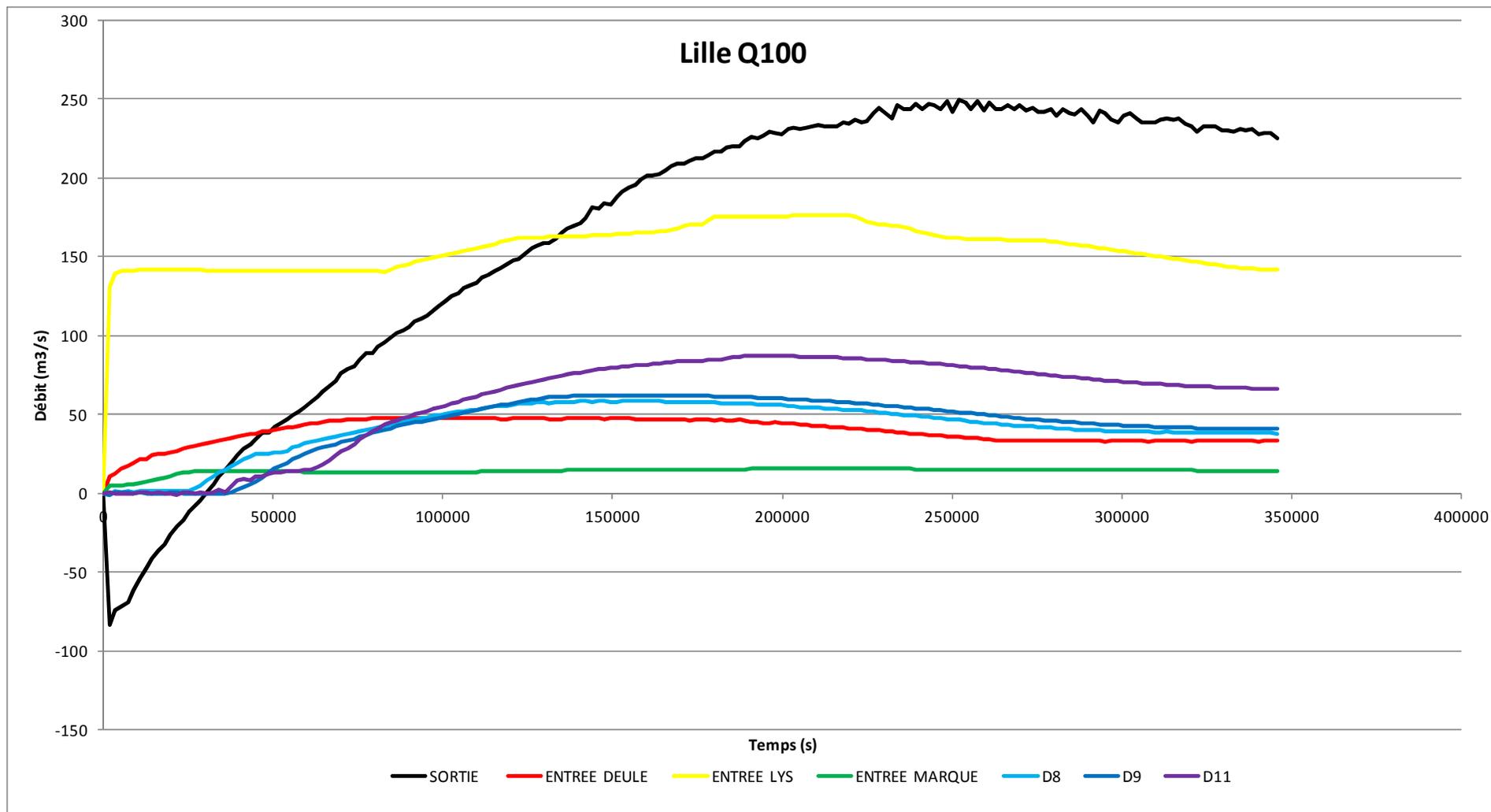
Nous avons extrait le débit calculé au cours du temps (hydrogramme) de la simulation du modèle 2D en 7 points : au niveau des conditions limites amont et aval (entrée Deûle, entrée Lys, entrée Marque et sortie Lys), ainsi qu'au niveau des apports latéraux (D8, D9, D11).

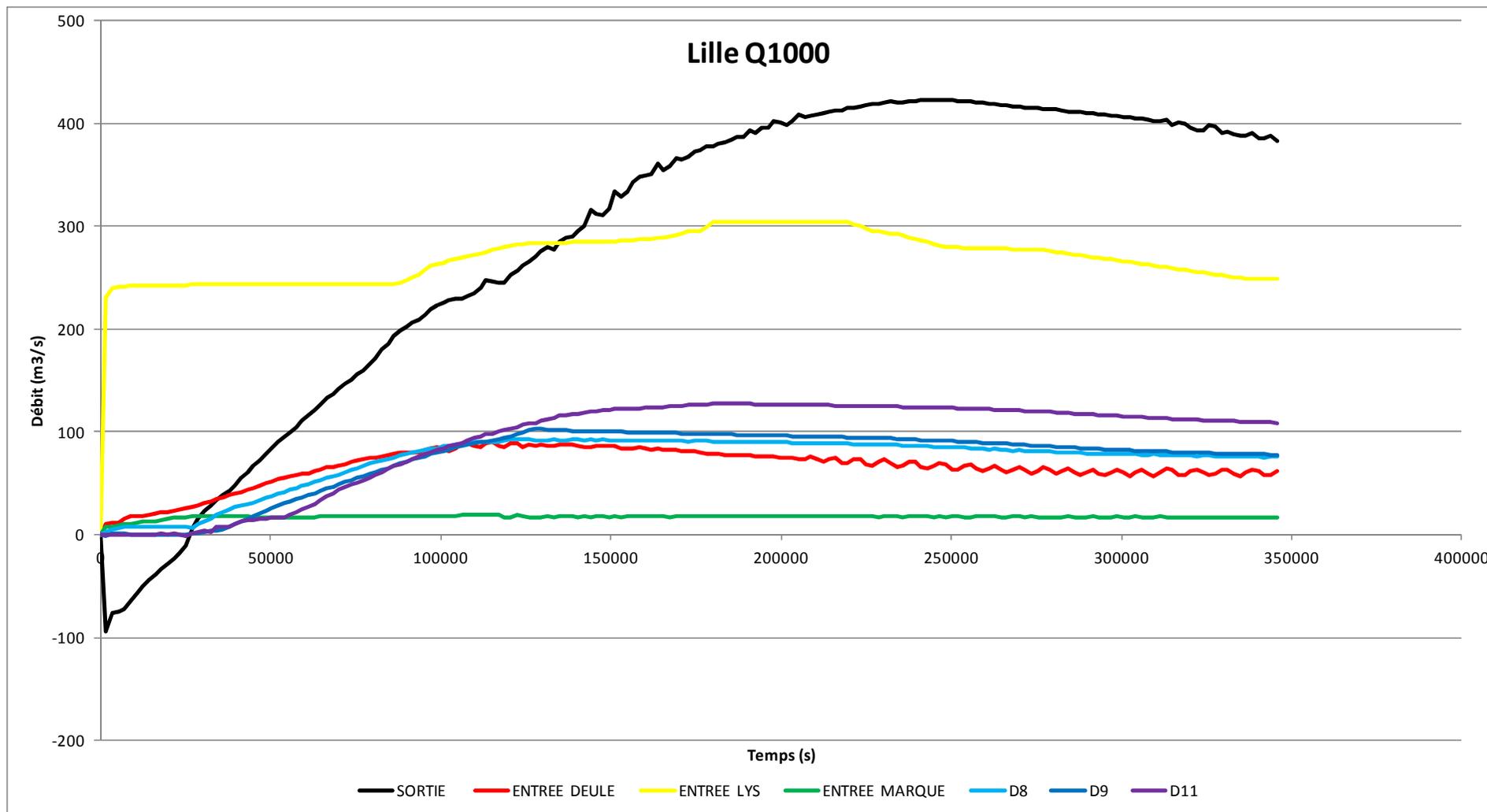
Le tableau ci-dessous présente les débits maximums atteints pour chacun de ces hydrogrammes, puis les hydrogrammes sont présentés sur les pages qui suivent.

Tableau 9 : Tableau des débits maximums (m<sup>3</sup>/s) atteints en différents points sur le TRI de Lille

Cours d'eau	10 ANS	100 ANS	1000 ANS
Deûle (entrée)	33.7	48.0	90.5
Marque (entrée)	12.1	15.4	19.3
Lys (entrée)	105.7	176.5	304.2
Deûle D8 (injection canal Seclin)	37.5	58.6	93.2
Deûle D9 (injection Rigole du Nord)	39.7	62.4	102.7
Deûle D11 (Wambrechies)	59.2	87.1	127.5
sortie	155.8	249.6	422.8







De manière générale, on remarque que les hydrogrammes comportent des instabilités numériques très faibles, qui sont inférieures à 10% du débit maximum pour chaque hydrogramme, ce qui est classiquement accepté en modélisation hydraulique.

Concernant les premières heures de simulations, on retrouve sur les hydrogrammes des valeurs « chaotiques » qui correspondent à la phase d'initialisation du modèle avec la prise en compte des hauteurs d'eau initiales, l'attente d'arrivée du débit et la stabilisation de la ligne d'eau.

On rappelle que pour la problématique de cette étude de cartographie des zones inondables, seules les maximums ont été exploités et utilisés. Les temps de submersion, montée de crue et décrue n'ont pas été étudiés.

## Conclusion

Dans cette dernière phase d'étude, on rappelle que l'objectif était de cartographier les zones inondables au sein des TRI de Lens et de Lille avec des outils de modélisation hydraulique pour des crues de période de retour 10 ans, 100 ans et 1000 ans. La modélisation a été effectuée en régime transitoire.

Nous avons dû pour cela prendre des hypothèses de modélisation fortes, comme par exemple des digues fonctionnelles pour des crues millénales, des ponts transparents hydrauliquement, ou encore aucun échange vers les autres bassins via la Scarpe et le canal d'Aire.

La première méthode utilisée a été le modèle hydraulique 1D lit mineur MIKE 11. Nous avons réutilisé les modèles 1D que possédait VNF sur Lens et Lille. Après une vérification minutieuse, nous en avons conclu que ces modèles étaient bien construits et utilisables en l'état pour l'étude. Nous avons observé de légers débordements à certains endroits pour la crue décennale, il était donc nécessaire de prendre en compte le lit majeur et de changer de type de modélisation : le modèle 2D.

La deuxième étape a été de développer des modèles hydrauliques 2D avec TELEMAC 2D qui prend en compte le lit majeur. Étant limité numériquement, nous avons opté pour une stratégie un modèle par TRI. Les maillages 2D ont été faits aussi finement que possible et intègrent la topographie Lidar et la bathymétrie VNF. Les données hydrologiques d'entrées sont de sources multiples : hydrogrammes SHYREG (par DHE), horodatés et modifiés ; résultats de l'étude sur le TRI de Douai (par PROLOG) et résultats de l'étude PPRI Marque (par ARTELIA).

Après post-traitement des résultats des modèles 2D, nous avons produit un atlas cartographique au 1/25000 des surfaces inondables au sein des TRI de Lens et Lille. A noter que pour Lille nous avons vérifié l'harmonisation des résultats entre le PPRI de la Marque et nos résultats.

Après analyse des résultats, on peut conclure que même pour une crue de période 1000 ans, la Deûle, la Lys et le canal de Lens ne débordent pas beaucoup au sein des TRI. Les zones les plus touchées restent sur le TRI de Lens, sur les parties amont de la Deûle et du canal de Lens. On trouve de manière ponctuelle des débordements, souvent dans des zones de marais, de darse ou encore d'ancien bras naturel. On note quand même des débordements importants dans des zones hors TRI sur la Lys entre Armentières et Deulémont, ainsi que sur la rive Belge de la Lys.

Il est difficile, voire impossible, de connaître la précision des valeurs de hauteurs d'eau calculées ou encore la précision de l'enveloppe d'inondation. Les sources d'incertitudes sont multiples : mesures des données topographiques et bathymétriques, débit maximum et volumes de crues issus des études DHE, ARTELIA et PROLOG, discrétisation de l'espace lors de la création du maillage, coefficient de rugosité issu des données d'occupation du sol, le modèle hydraulique en soi, le post-traitement ...

La cartographie des zones inondables par méthode hydrogéomorphologique en phase 3 est très différente de celle obtenue par modélisation hydraulique 2D dans cette dernière phase d'étude. Malgré les différentes sources d'incertitudes, il apparaît judicieux de baser la réflexion de la gestion du risque inondation sur les TRI de Lille et Lens sur les cartes issues de la modélisation hydraulique.

## ANNEXE 1

Atlas cartographique des hauteurs d'eau au 1/25 000ème