

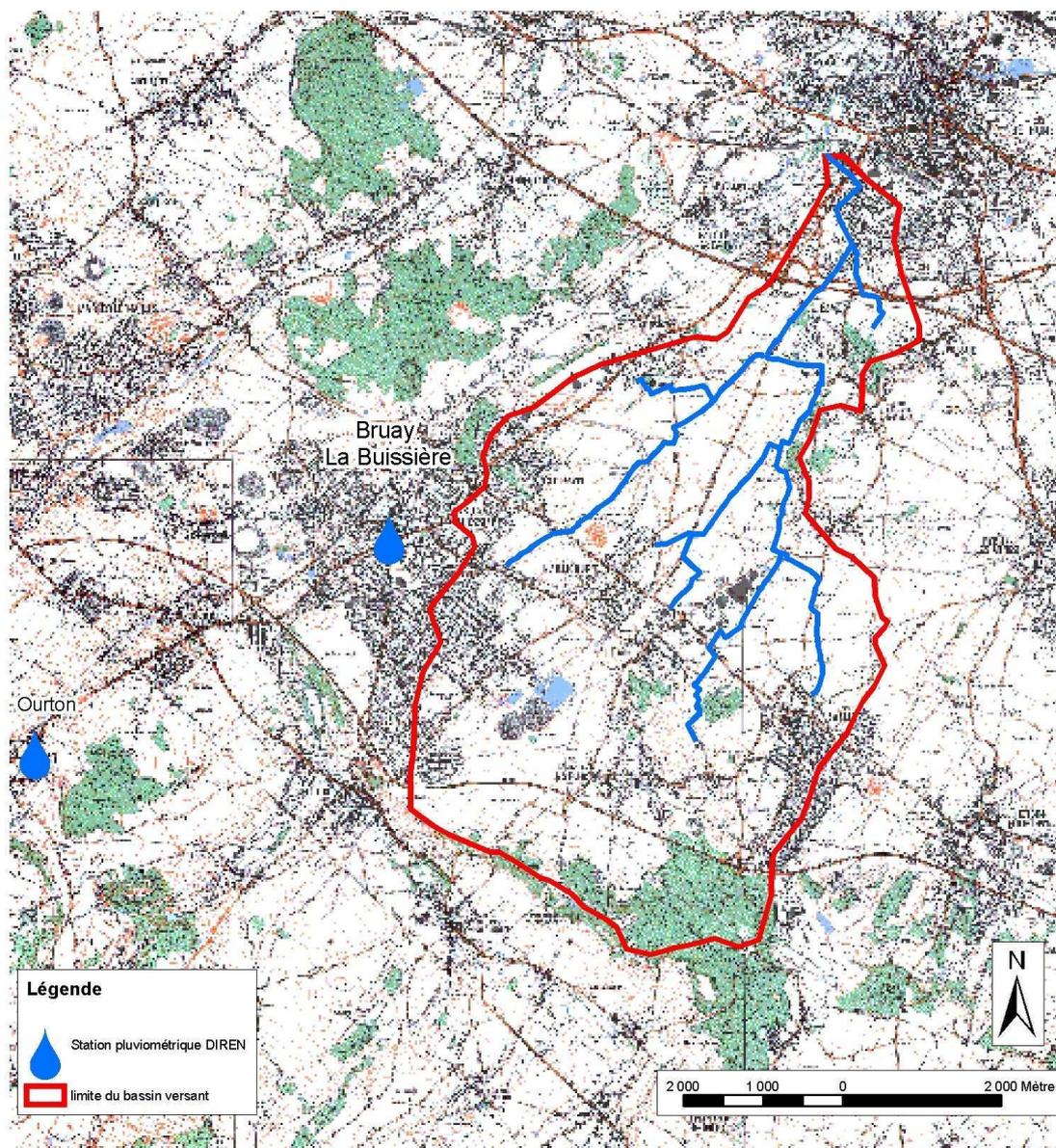
### 3 ETUDE HYDROLOGIQUE

#### 3.1 La pluviométrie

##### 3.1.1 Analyse critique des données disponibles

A proximité du bassin versant existe une station d'enregistrement de la pluviométrie (DIREN 59-62) située sur la commune de Bruay la Buisnière. Cette station peut être considérée comme représentative des sous-bassins aval du Fossé d'Avesnes.

En périphérie de la zone d'étude, sur la commune de Ourton, une station pluviométrique existe également Elle se situe dans les monts d'Artois et peut être utilisée pour les sous-bassins amont du Fossé d'Avesnes (Carte 2).



**Carte 2 : Situation des stations pluviométriques**

La DIREN a mis à la disposition d'Haskoning France les précipitations journalières enregistrées aux 2 stations.

- Pour la station de Bruay la Buissière, les données brutes fournies s'étalent sur la période allant de janvier 1990 au 5 décembre 2002.
- Pour la station de Ourton, les données brutes fournies s'étalent sur la période janvier 1966 - décembre 2002.

Les données ont été enregistrées de façon régulière et continue à l'exception de quelques jours pour lesquels les données manquent.

Les données validées et exploitées par calculs statistiques par la DIREN comprennent la période 1966 – 1999 et ne concernent que la station de Ourton. En effet, la chronique de mesure de la station de Bruay la Buissière est insuffisante (12 ans) pour réaliser une analyse fréquentielle représentative. En outre, les hauteurs moyennes annuelles des deux stations sont très proches (681,7 mm pour Bruay la Buissière et 656,2 mm pour Ourton). Par conséquent, les résultats de l'étude statistique de Ourton pourront être appliqués à l'ensemble du bassin versant.

Les résultats de l'exploitation statistique des données de la station de Ourton sont rassemblés dans le Tableau 1.

Temps de retour	Précipitations journalières (mm)
2 ans	32,5
5 ans	43,6
10 ans	53,0
15 ans	59,1
20 ans	63,8
25 ans	67,7
50 ans	81,2
100 ans	97,2

**Tableau 1 : Analyse fréquentielle des précipitations à Ourton (Source DIREN)**

### 3.1.2 Saisonnalité des crues et analyse des crues historiques

On peut observer des crues notamment l'été lors de phénomènes orageux violents (comme le 27 août 2002, le 17 septembre 2001 et le 6 juin 1998). Ces événements provoquent des inondations locales et des coulées de boue. Les crues d'hiver sont de moindre amplitude et provoquent des submersions à la suite de la formation d'embâcles (ex : début décembre 2002 entre Vaudricourt et Fouquières)

Aujourd'hui de nombreuses habitations du bassin versant du Fossé d'Avesnes sont régulièrement inondées, particulièrement sur l'aval (rue de Vaudricourt à Béthune). La Carte 1 recense les zones inondées selon notre enquête dans la commune.

### 3.1.3 Analyse d'événements pluvieux

Cette analyse est réalisée sur plusieurs événements ayant entraîné des inondations. Son objectif est de déterminer le type de pluie inondante et la distribution temporelle de la pluie de projet.

Le Tableau 2 présente les principaux événements inondants.

Événement	Durée	Ourton			Bruay la Buisnière		
		H (mm)	Mj (mm/j)	Tr (année)	H (mm)	Mj (mm/j)	Tr (année)
<b>26 - 27 août 2002</b>	2 j	82,9	82,2	50	61,6	60,3	15
Intensité maximale	6 h	78,5	-	> 50	55	-	> 50
<b>15 - 17 septembre 2001</b>	3 j	62	45	5	61,8	44,6	5
Intensité maximale	6 h	-	-	-	20	-	> 5
<b>5 - 6 juin 1998</b>	2 j	45,7	34	2	42,8	33	2
Intensité maximale	8 h	-	-	-	20,8	-	> 2
<b>1 -5 décembre 2002</b>	4 j	47,5	25,3	< 2	39,9	27,6	< 2

H : Hauteur de précipitation de l'événement

Mj : Hauteur maximale de précipitation journalière

Tr : Temps de retour de l'événement.

**Tableau 2 : Événements inondant pendant la période 1999 - 2002**

Les inondations localisées par débordement du 05 décembre 2002 sont davantage liées à l'obturation d'une buse par des embâcles qu'à l'intensité de l'événement qui est restée modérée.

Par ailleurs, cette analyse des événements pluvieux permet de caractériser les pluies dommageables :

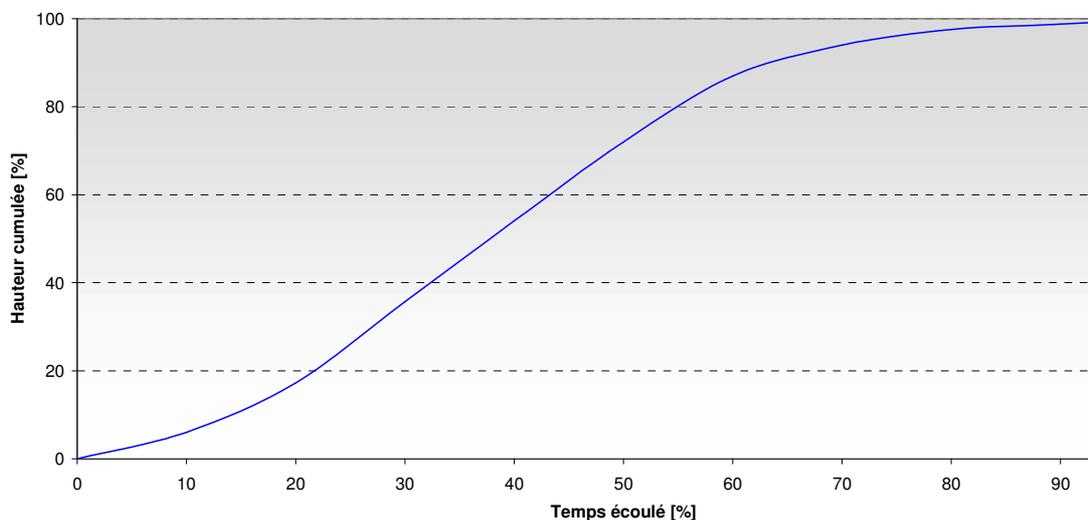
- Elles ont une forte intensité sur une période de l'ordre de 6 h ;
- Elles entraînent des désordres, hors contexte exceptionnel, dès qu'elles atteignent une période de retour comprise entre 2 et 5 ans ;
- Des perturbations apparaissent au moins quand l'intensité atteint 20 mm en 8 h.

### 3.2 Définition de la pluie de projet

Les témoignages des riverains et les investigations dans les communes ont mis en évidence des risques majeurs d'inondation lors d'orages et notamment en période estivale.

En accord avec les conclusions qui précèdent, nous prendrons comme événement de référence celui de la nuit du 26 au 27 août 2002 de durée 6 heures pour déterminer la distribution temporelle de la pluie de projet (Graphique 1).

**Distribution de la pluviométrie cumulée**  
% Hauteur cumulée en fonction du % de temps écoulé



**Graphique 1 : Distribution pluviométrique de référence**

### 3.3 Le bassin versant du Fossé d'Avesnes

#### 3.3.1 Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant du fossé d'Avesnes a une superficie d'environ 37 km<sup>2</sup>.

##### **Topographie**

Dans la zone amont, la dénivelée, relativement importante (de l'ordre de 130 m – pente moyenne des sous-bassins versants de l'ordre de 2,5 à 3 %), favorise le ruissellement. La zone aval se caractérise par une pente moindre (pente = 1 %).

##### **Géologie - pédologie**

La géologie du bassin versant a été analysée à partir de la carte géologique au 1/50 000<sup>ème</sup> de Béthune (BRGM). Les terrains sédimentaires suivants sont rencontrés du sol vers la profondeur :

- Environ 5,0 à 6,0 mètres de limons,
- A environ 6,0 mètres de profondeur, on rencontre les formations aquifères de la craie séno-turonienne (C4-C3c).

Les formations superficielles recouvrent la craie blanche sénonienne qui affleure dans certaines parties de la zone amont. Ces formations sont essentiellement constituées de limons pléistocène et de limons de lavage dans les vallées (perméabilité modérée de 10<sup>-6</sup> m/s).

Les caractéristiques géologiques du bassin versant (faible profondeur de l'aquifère, perméabilité du sol) permettent l'infiltration des volumes précipités vers la nappe. Les parcelles sont donc drainées naturellement.

### **Occupation des sols**

L'occupation du bassin versant du Fossé d'Avesnes se répartit :

- Pour 68 % de terrains agricoles et naturels,
- Pour 32 % de zone urbaine.

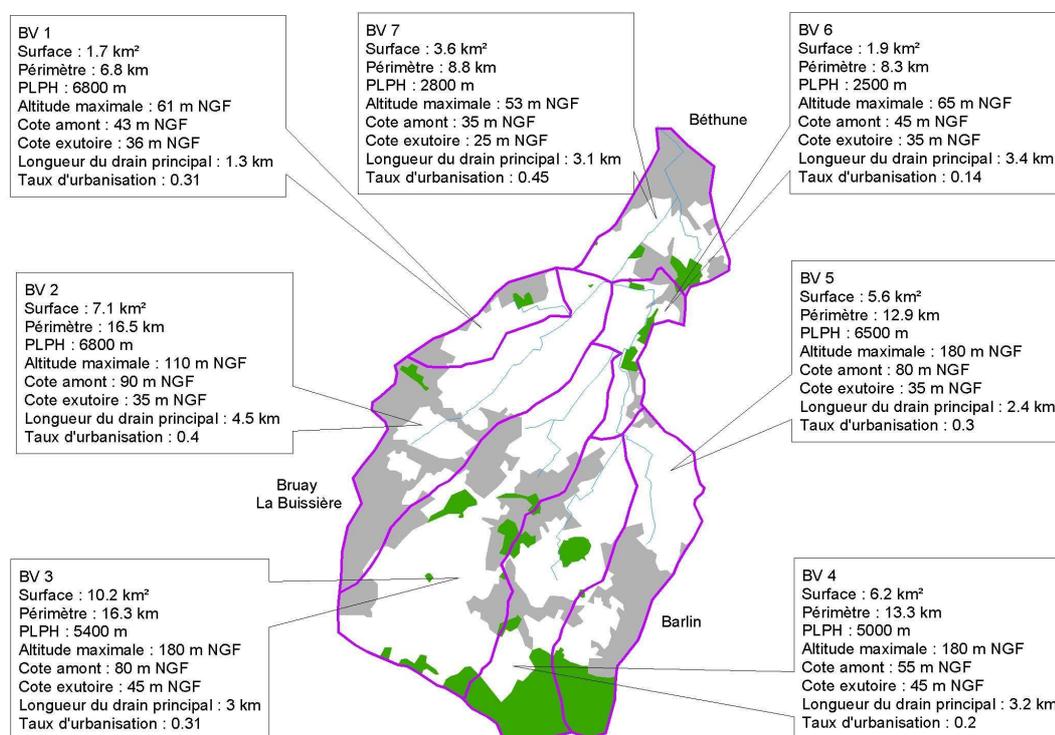
De plus, le bassin versant est traversé par de grands aménagements routiers (A26, RN41...).

Cette occupation des sols influence directement la répartition des volumes précipités. D'une part, les zones agricoles agissent comme des zones tampons avec des coefficients de ruissellement relativement faibles (Il a toutefois été remarqué des ravines dans certaines parcelles à forte pente). D'autre part, la zone urbaine, aux sols imperméabilisés, accélère le ruissellement.

### 3.3.2 Caractéristiques des sous-bassins versants

**Le bassin versant du Fossé d'Avesnes est divisé en 7 sous-bassins élémentaires (BV1, BV2, BV3, BV4, BV5, BV6, BV7). La délimitation de ces sous-bassins ainsi que leurs caractéristiques hydrologiques et géographiques sont présentées à la**

Carte 3 ci-dessous.



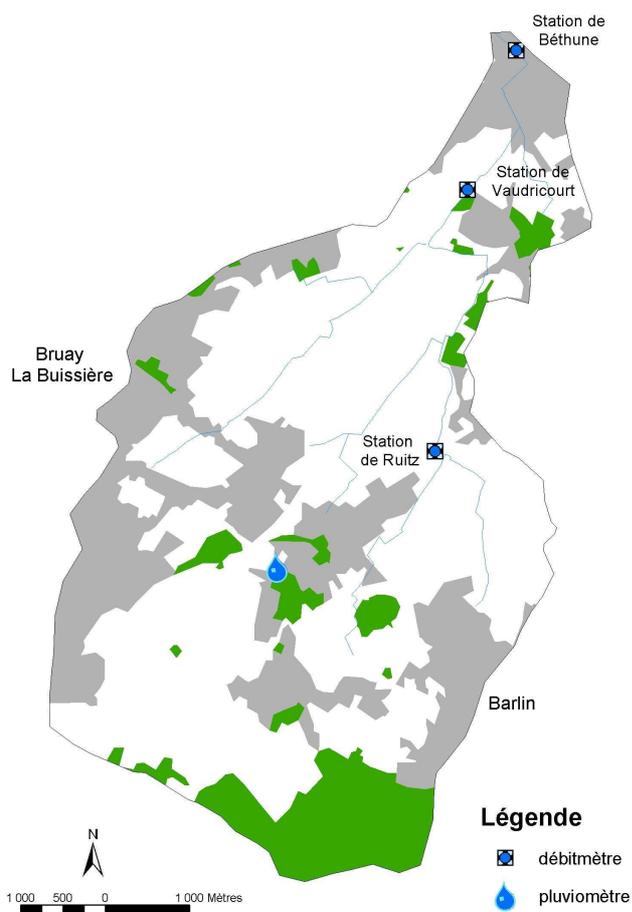
**Carte 3 : Caractéristiques des sous-bassins élémentaires du Fossé d'Avesnes**

### 3.4 Analyse des campagnes de mesure

Il existe peu de données sur l'hydrologie du Fossé d'Avesnes. Ainsi, une station de mesures pluviométriques a été implantée sur le site du cimetière de Ruitz, approximativement au centre du bassin versant. Ses mesures sont représentatives des hauteurs de précipitation de l'ensemble du bassin versant du Fossé d'Avesne. Trois stations de mesures débitmétriques ont également été implantées (Carte 4) :

- En aval de la zone industrielle de Ruitz,
- Au droit de la commune de Vaudricourt,
- Avenue de Bruay à Béthune.

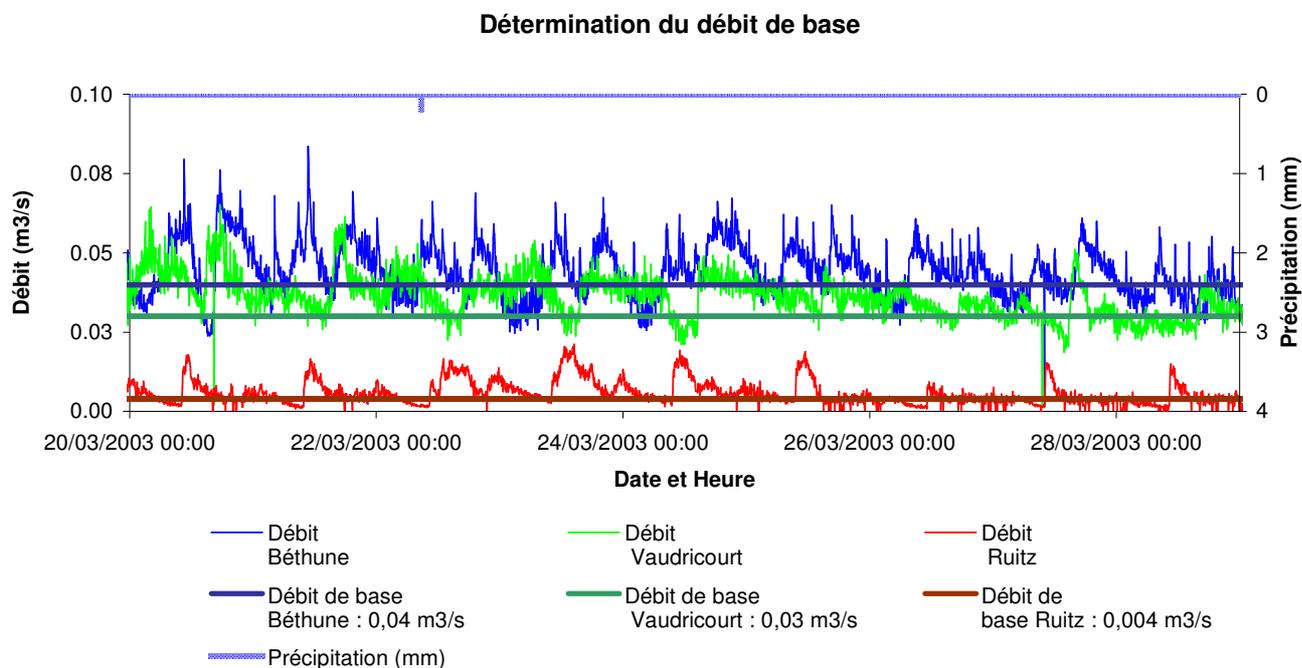
Les caractéristiques des stations sont présentées à l'annexe 1. Elles ont enregistré des mesures au pas de temps de cinq minutes entre le 19 février 2003 et le 19 mai 2003. Cette campagne de mesures permettra de caler les modèles hydrologique et hydraulique à partir de situations réelles. Les résultats de cette campagne de mesures sont fournis sur CD-Rom en annexe.



**Carte 4 : Implantation des stations de mesures**

### 3.4.1 Débits de base

Les débits de base ont été estimés pour chaque station de mesure au cours de la période d'études (Graphique 2).



#### Graphique 2 : Débits de base aux stations de jaugeage

Pour la période d'études, les débits de base sont de l'ordre de :

- 0,004 m<sup>3</sup>/s à Ruitz,
- 0,03 m<sup>3</sup>/s à Vaudricourt,
- 0,04 m<sup>3</sup>/s à Béthune.

Ces débits correspondent à l'alimentation du cours d'eau qui draine la nappe de la craie au printemps et à des rejets d'eaux résiduelles urbaines, induisant des variations de débit régulières. Par conséquent, ils ne sont pas pris en compte dans l'analyse des volumes ruisselés.

### 3.4.2 Précipitation minimale

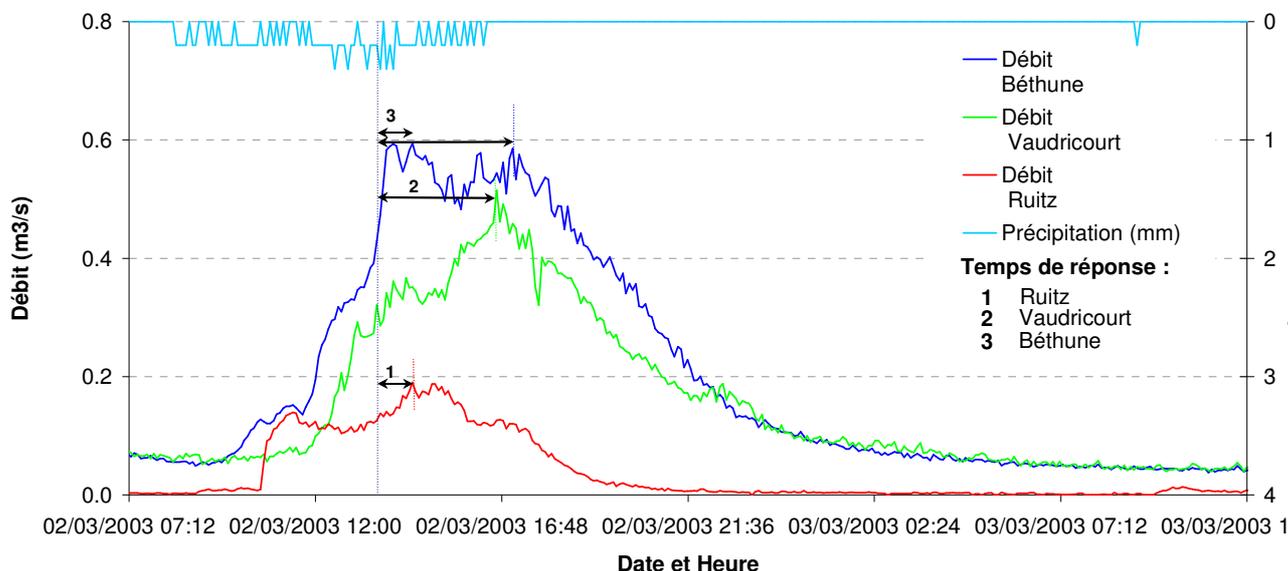
L'analyse de la chronique de mesures permet de déterminer le seuil de précipitation entraînant une réponse du bassin versant. Cette hauteur a été fixée à 1,4 mm.

La hauteur de 1,4 mm sera déduite de l'événement pluvieux choisi pour générer les hydrogrammes de la crue de calage du modèle hydraulique.

### 3.4.3 Temps de réponse

Le temps de réponse est le temps écoulé entre l'intensité maximale de précipitation et le pic de débit (Graphique 3). Le Tableau 3 présente les différents temps de réponse relevés pour 5 événements hydrologiques de la période de mesures.

### Détermination du temps de réponse



**Graphique 3 : Détermination du temps de réponse**

De manière générale, deux temps de réponse distincts sont observés à Béthune. Le premier, court, est imputable aux ruissellements urbains dans l'agglomération de Béthune. Le second, plus long, constitue le temps de réponse global du bassin versant.

Sous-bassin	28/02/2003	03/03/2003	01/04/2003	25/04/2003	02/05/2003	12/05/2003
Ruitz	1h30mn	40 mn	1h30mn	X	X	1h
Vaudricourt	3h35mn	3h10mn	4h20mn	4h	2h15mn	X
Béthune	15mn 4h20mn	40mn	30mn 5h20mn	-25mn 5h20mn	-30mn	-15mn 4h25mn

**Tableau 3 : Temps de réponses des différents bassins versants**

Les temps de réponse courts observés sur Béthune sont parfois négatifs. Ceci s'explique par le déplacement du phénomène pluvieux. Ainsi, il n'est pas possible de déterminer précisément le temps de réponse du sous-bassin versant urbain de Béthune. Néanmoins, le temps de réponse global du bassin versant est de l'ordre de 5h. Ce temps de réponse est en moyenne inférieur d'une heure à Vaudricourt ce qui tend à démontrer l'effet du bassin situé à l'aval de la RN41. Enfin, le temps de réponse du sous-bassin élémentaire de Ruitz est de l'ordre d'une heure.

### 3.4.4 Coefficient de ruissellement

Cet élément représente la première approche du fonctionnement hydrologique du bassin versant.

Le Tableau 4 présente les coefficients de ruissellement déterminés aux différentes stations de mesures débitmétriques. Ils sont calculés en prenant l'hypothèse d'une répartition homogène de la pluie.

	Période	28/02/2003	02/03/2003	01/04/2003	25/04/2003	02/05/2003	12/05/2003
H précipitée (mm)	131.20	5.80	14.80	6.60	14.00	5.40	7.00
Durée de l'événement (h)	-	2.4	91.3	7.1	5.6	0.3	1.1
<b>Ruitz</b>	1.59%	1.87%	1.56%	1.03%	-	-	2.12%
<b>Vaudricourt</b>	2.92%	3.50%	3.11%	1.82%	2.58%	0.45%	-
<b>Béthune</b>	3.26%	4.30%	3.03%	3.87%	3.61%	0.92%	1.65%

**Tableau 4 : Proportion des volumes précipités ayant rejoint le réseau hydrographique**

Au cours de la période de mesures, 3,3 % des volumes précipités sur le bassin versant ont atteint l'exutoire à Béthune. 96,7 % des volumes précipités rejoignent :

- La nappe de la craie sous-jacente après percolation à travers le sol limoneux perméable ;
- L'atmosphère après évapotranspiration.

La proportion des volumes précipités ayant rejoint le réseau hydrographique est plus forte sur l'ensemble du bassin versant que sur les sous-bassins amont. Ce constat semble lié à l'occupation des sols (Tableau 5) et notamment aux zones urbaines qui influencent directement le ruissellement de surface.

Cette tendance est globalement confirmée par les valeurs déterminées à partir d'événements pluvieux significatifs.

	Zones agricoles	Zones urbaines
Ruitz	75.3%	24.7%
Vaudricourt	70.4%	29.6%
Béthune	68.9%	31.1%

**Tableau 5 : Occupation des sols pour les différents bassins versants**

### 3.5 Temps de concentration (Tc)

Le temps de concentration représente le temps de parcours de la particule d'eau entre le point de précipitation le plus amont jusqu'à l'exutoire. Il est généralement assimilé au temps de réponse du bassin versant.

#### 3.5.1 Présentation des méthodes de calcul

Cinq méthodes de calculs ont été utilisées afin de déterminer les temps de concentration des bassins versants du Fossé d'Avesnes. Les équations sont détaillées dans les Tableaux Tableau 6 & Tableau 7.

Modèle	Equation
<i>Kirpich1 (1940)</i>	$T_c = 0.02 * L^{0.77} / I^{0.385}$
<i>Kirpich2 (1940)</i>	$T_c = 3.08 * 10^{-5} * L / I^{0.5}$
<i>Kirpich3 (1940)</i>	$T_c = 25.0 * 10^{-5} * (L / I^{0.5})^{0.8}$
<i>SOGREAH</i>	$T_c = 75.17 * 10^{-3} * A^{0.35} / (C * S)^{0.5}$
<i>Johnstone &amp; Cross (1949)</i>	$T_c = 0.000566 * (L / I)^{0.5}$

**Tableau 6 : Modèles de calcul des temps de concentration**

Symbole	Description	Unité
$T_c$	Temps de concentration	[h]
$L$	Longueur du plus long parcours hydraulique	[m]
$A$	Surface du bassin versant	[km <sup>2</sup> ]
$I$	Pente moyenne du bassin versant	[m/m]
$S$	Pente moyenne du cours d'eau	[m/m]
$C$	Coefficient de ruissellement	[-]

**Tableau 7 : Symboles utilisés dans les modèles**

### 3.5.2 Résultats

Les résultats des calculs des temps de concentrations sont présentés dans le Tableau 8.

Modèle	BV	SBV 1	SBV 2	SBV 3	SBV 4	SBV 5	SBV 6	SBV 7
<i>Kirpich1 (1940)</i>	1.8	1.0	1.7	1.0	0.9	1.2	0.8	0.9
<i>Kirpich2 (1940)</i>	2.1	1.0	2.0	1.1	0.9	1.3	0.7	0.9
<i>Kirpich3 (1940)</i>	1.9	1.0	1.8	1.1	1.0	1.3	0.8	0.9
<i>SOGREAH</i>	4.1	2.2	2.0	2.5	2.4	1.6	3.3	3.0
<i>Johnstone &amp; Cross (1949)</i>	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3

**Tableau 8 : Temps de concentration pour l'ensemble des sous-bassins élémentaires**

Le temps de concentration déterminé après analyse de la campagne de mesure est de une heure pour le sous-bassin de la station débitmétrique de Ruitz. Ce sous-bassin correspond aux sous-bassins versants 4 et 5 de notre découpage. Des cinq méthodes de détermination, le modèle « Kirpich 1 » semble le plus réaliste et a été retenu.

### 3.6 Modélisation pluie-débit

L'objectif de la modélisation hydrologique est de générer les hydrogrammes de crue pour la crue de calage, les crues de simulation et la crue de validation qui seront utilisés dans la modélisation hydraulique.

#### 3.6.1 Modèle de De Zeeuw

Les hydrogrammes des bassins versants seront déterminés grâce au modèle de conversion pluie/débit de *De Zeeuw* pour des événements de temps de retour de 10, 20 et 100 ans. Les coefficients de ce modèle d'écoulement seront calés à partir des caractéristiques propres du bassin versant (occupation du sol, couverture végétale, etc.).

##### *Equation de De Zeeuw*

$$q(t) = q(t-1) \cdot \exp(-\alpha t) + p(e) \cdot (1 - \exp(-\alpha t))$$

Avec:	q(t)	Ruissellement au temps t [m]
	q(t-1)	Ruissellement au temps (t-1)
	$\alpha$	Facteur de réaction [1/j]
	T	Temps [j]
	P(e)	Précipitation effective pendant t [m] (= précipitation * coefficient de ruissellement)

Valeur indicatives pour  $\alpha$  [1/j] :

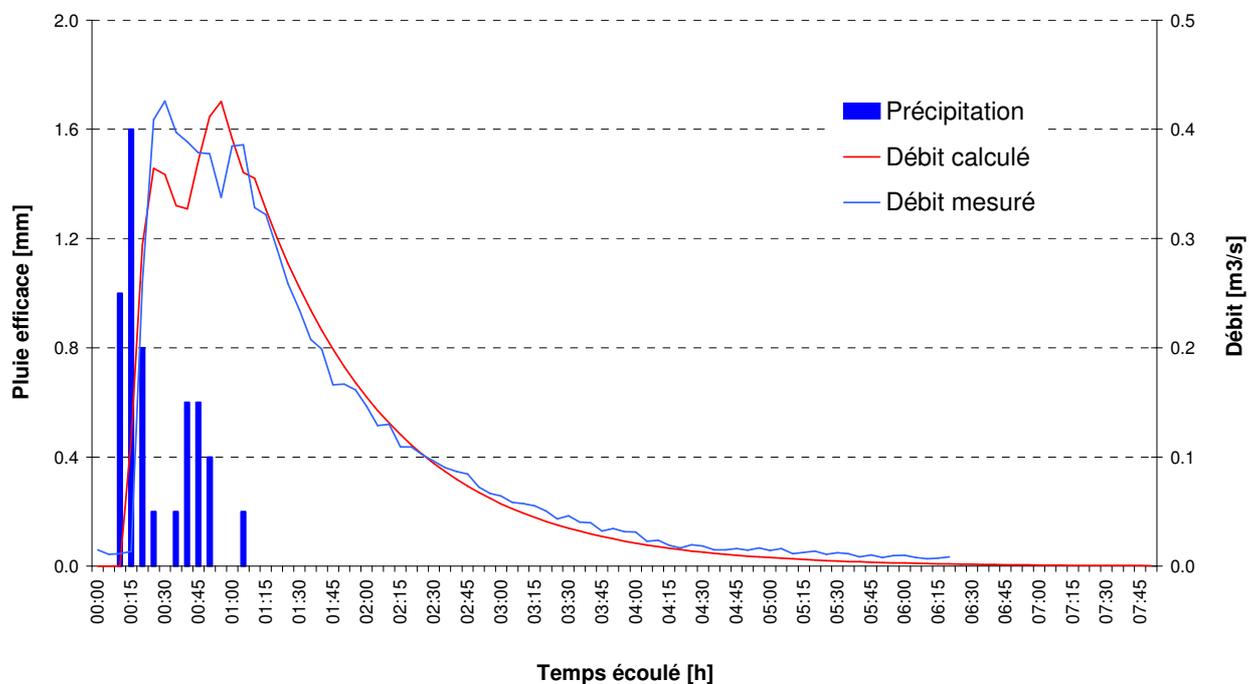
Min.	Max.	Description
500	700	Ruissellement sur 1000-4000 m <sup>2</sup> surface imperméable
100	200	Ruissellement sur une surface très pentue
1	10	Ruissellement sur un sol avec aquifères de surface
0.3	0.7	Sol agricole bien drainé
0.03	0.07	Prairie mal drainée avec fossés obstrués
0.0003	0.0005	Ruissellement sur sables très perméables

#### 3.6.2 Premier calage du modèle

Le modèle de De Zeeuw a été calé à partir de l'événement du 11 mai 2003 sur le sous-bassin versant élémentaire de Ruitz (BV 4 & 5 / Graphique 4). Ce calage permet de reproduire de manière fidèle la montée, l'amplitude du pic et la descente de crue. Le modèle calé est également réaliste en terme de volumes d'eau atteignant le cours d'eau.

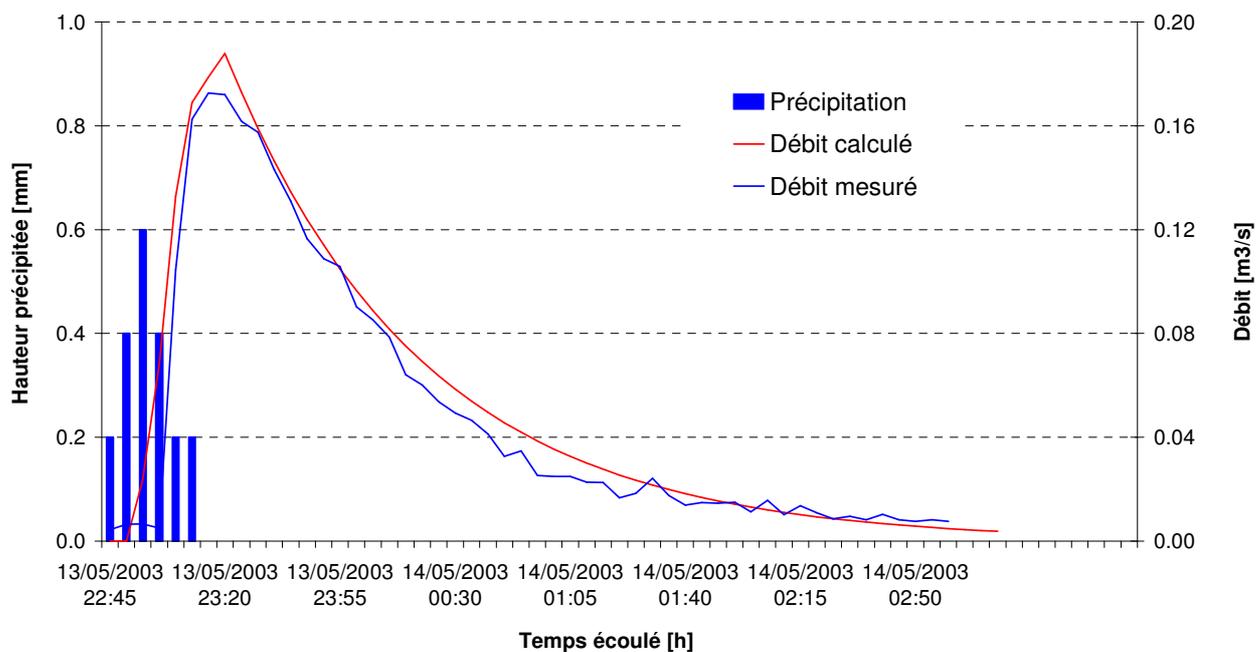
Ce calage est validé à partir de l'événement hydrologique du 14 mai 2003 (Graphique 5).

### Calage du modèle de De Zeeuw



Graphique 4 : Calage du modèle de De Zeeuw (événement du 11 mai 2003)

### Validation du modèle de De Zeeuw



Graphique 5 : Validation du modèle de De Zeeuw (14 mai 2003)

Ce calage du modèle de De Zeeuw a permis de définir le coefficient  $\alpha$  (=1) et de préciser le coefficient de ruissellement  $C_r$  (= 0,037) préalablement évalué pour l'ensemble de la période d'études. Pour des événements à caractère exceptionnel (de période de retour au moins décennale), le coefficient de ruissellement est fixé à 0,1 du fait de la saturation rapide des sols induite par ces événements violents.

### 3.6.3 Critique de ce calage

Afin de disposer d'un outil reflétant au mieux la réalité, le Comité de Pilotage a requis le calage conjoint des modèles hydrologique et hydraulique. Il souhaite ainsi que celui-ci soit réalisé à partir de l'événement majeur de la chronique de mesure : la pluie du 26 avril 03.

Par ailleurs, la distinction de fonctionnement hydrologique entre zone urbaine et zone rurale a été souhaitée. Ainsi les sous-bassins versants ont été « dichotomisés » selon leur proportion d'occupation des sols.

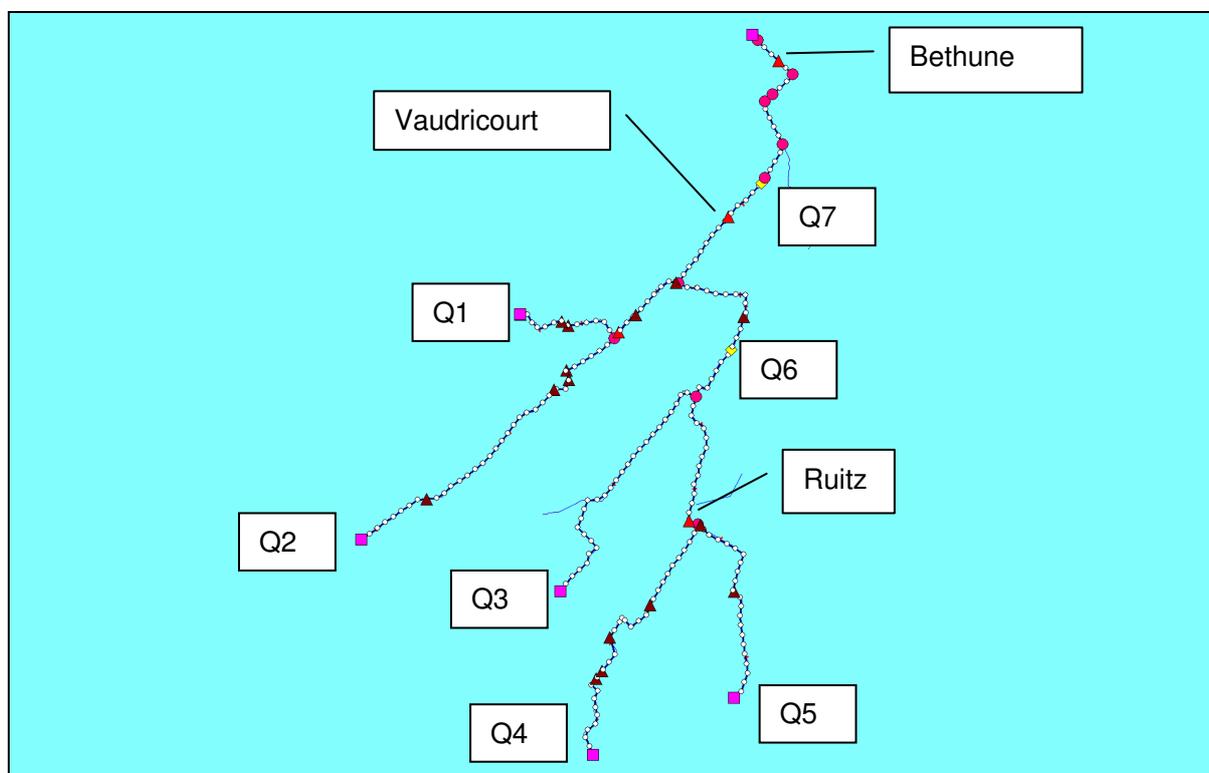
## 4 CALAGE CONJOINT DES MODELES HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

### 4.1 Modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique 1D a été réalisée avec le logiciel Sobek Rural. Elle détermine la hauteur d'eau atteinte par le Fossé d'Avesnes au cours d'un événement pluvieux. Elle permet également de simuler la dynamique de la crue.

#### 4.1.1 Données géométriques

La mise en place d'une modélisation hydraulique nécessite l'utilisation de données géométriques (profils en travers) localisées à la Figure 1.



**Figure 1 : Modèle du Fossé d'Avesnes sous SOBEK-rural.** Les stations de mesure et les conditions limites amont y sont représentés

#### 4.1.2 Paramétrage du modèle

Le modèle a été construit avec les données géométriques décrites ci-dessus. Toutefois, certains profils en travers ont mis en évidence une contre-pente du lit majeur du cours d'eau. Dans le modèle, il a été assigné, pour ces profils une pente nulle au lit majeur.

Deux profils en travers permettent de modéliser le réservoir et un profil supplémentaire est positionné à l'amont immédiat de celui-ci.

Les débits calculés des sous-bassins BV1 à BV5 sont injectés aux limites amont du modèle, alors que les débits des sous-bassins BV6 et BV7 constituent des débits latéraux. Le débit du sous-bassin BV7 est injecté à l'aval immédiat du réservoir.

La condition de la limite aval est une hauteur d'eau dont la valeur est inconnue. L'effet de différents niveaux d'eau à l'aval devrait faire l'objet d'une analyse de sensibilité.

La rugosité du fond est estimée ainsi :

- Les cours supérieurs, à l'amont de la bifurcation vers Vaudricourt, sont plus ou moins enherbés. Le coefficient de Chézy a été estimé à  $C = 20 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ .
- Les cours moyens, entre la bifurcation vers Vaudricourt et la canalisation, sont bourbeux. Le coefficient de Chézy a été estimé à  $C = 50 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ .

- La partie canalisée est bétonnée Le coefficient de Chézy a été estimé à  $C = 80 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ .

Certains aménagements du cours amont sont inclus dans le modèle. En l'absence des connaissances de leurs caractéristiques et dimensions, il a été attribué à chacun une forme et un diamètre similaire (buse circulaire de diamètre 800 mm) qui correspond à un format moyen telles que les observations sur le terrain ont pu le montrer. Les dimensions de la partie canalisée ont été obtenues auprès d'Artois Comm'.

## 4.2 Approfondissement de la Modélisation hydrologique

Suite à la deuxième réunion intermédiaire du 25 juin 03, il a été décidé que :

- le modèle hydrologique prendrait en compte l'occupation du sol selon deux zones (zones urbaines et des zones rurales). Les sous-bassins ont ainsi été dichotomisés selon les surfaces occupées par chacune des deux classes d'occupation des sols ;
- seules les surfaces urbaines imperméabilisées ont participé au ruissellement lors de la période de mesure ;
- les modèles hydrologiques et hydrauliques seraient calés à partir de l'événement pluviométrique du 26 avril 2003, ce dernier est en effet le plus important de la chronique de mesure.

### 4.2.1 Aménagements hydrauliques sur la zone industrielle de Ruitz

Une enquête a été réalisée auprès de STA Ruitz qui a récemment réalisé une étude diagnostic de son réseau d'eaux pluviales (SAFEGE, 1996) avec l'objectif d'un meilleur contrôle des volumes ruisselés et des flux polluants engendrés. Pour une surface imperméable de 15,2 ha, il a été mesuré une surface active (participant au ruissellement) de 16,2 ha. La pluie de projet d'importance annuelle utilisée est de type double triangle centré d'une durée totale de 4 h, de durée intense égale à 30 mn et de hauteur totale précipitée de 22 mm. Le dimensionnement des bassins de rétention a retenu le critère de  $100 \text{ m}^3/\text{ha}$  imperméabilisé, soit l'équivalent d'une hauteur précipitée de 10 mm et d'un coefficient de ruissellement de 0,45.

Sur la base d'un dimensionnement à partir d'un événement pluvieux décennal (instruction technique de 1977), ces bassins d'orage sont sous-dimensionnés.

Vis-à-vis des modélisations en cours, les surfaces contrôlées par ces bassins sont limitées au regard de celles considérées dans les différents sous-bassins versants. De plus, la pluie de projet est d'occurrence forte et considère des pluies relativement faibles. Ces aménagements d'influence limitée pour les simulations d'événements exceptionnels ne seront donc pas pris en compte dans la modélisation pluie-débit.

### 4.2.2 Paramétrage du modèle de 'de Zeeuw'

Les débits du 26 avril ont été enregistrés à Béthune et à Vaudricourt. La station de Vaudricourt a connu des problèmes de mesure au cours de l'événement pluvieux. Celle de Ruitz n'a enregistré aucune mesure.

#### **Coefficient de ruissellement**

En raison de la faiblesse relative des hauteurs précipitées (16,8 mm à Ruitz) et du contexte climatique relativement sec, il est supposé que seules les zones urbaines

imperméabilisées sont à l'origine de la réponse du bassin versant. Ce calage ne concerne donc que les zones urbaines.

Le calcul du coefficient de ruissellement (rapport de volume) sur l'événement du 26 avril 2003 aboutit à une valeur moyenne de 0,073.

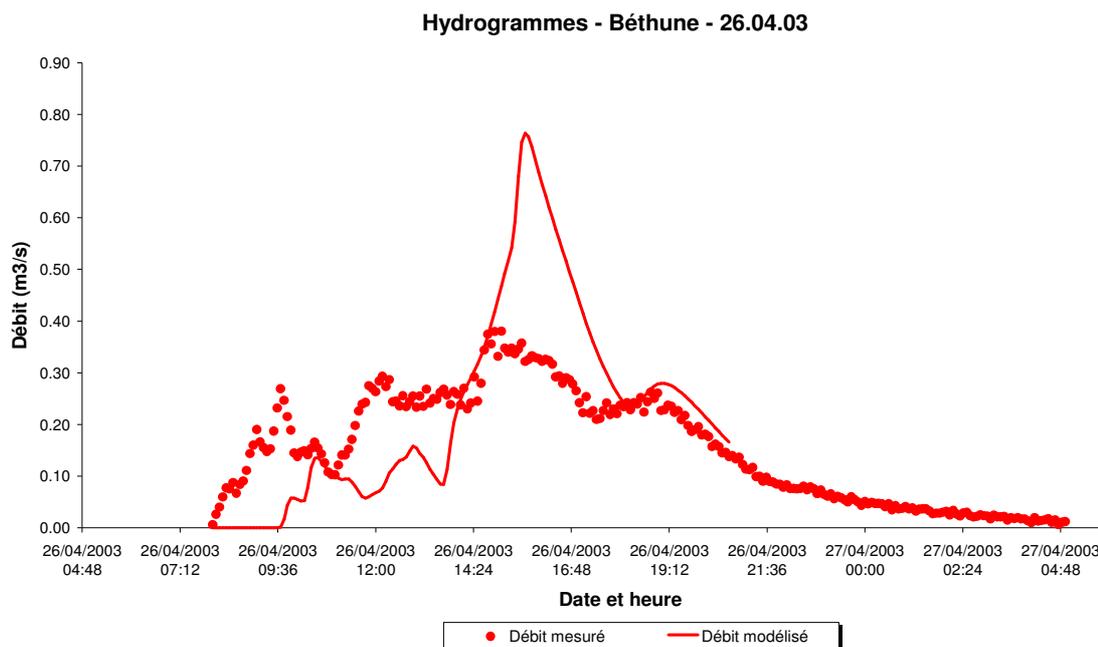
#### **Coefficient $\alpha$**

Dans un premier temps le coefficient  $\alpha$  est fixé à 1.

### **4.3 Calage à partir de l'événement du 26 avril 03**

#### **4.3.1 Premiers résultats**

Une première simulation a été réalisée en utilisant les paramètres présentés ci-dessus. Le Graphique 6 montre l'hydrogramme résultat au droit de la station de mesure de Béthune.



**Graphique 6 : Hydrogrammes mesuré et modélisé sans décalage temporel des hydrogrammes (Béthune, le 26/04/2003)**

Ce résultat n'est pas satisfaisant tant en pointe de crue (surestimée) qu'en montée de crue (retardée et sous-estimée). Les volumes écoulés étant respectés (calcul du coefficient de ruissellement), il est nécessaire de s'interroger sur la forme des hydrogrammes injectés ainsi que sur la propagation de l'onde de crue et son influence sur la déformation des hydrogrammes.

Le principal facteur de forme des hydrogrammes injectés est le coefficient  $\alpha$  du modèle de 'de Zeeuw'.

#### 4.3.2 Evaluation de $\alpha$

Le coefficient  $\alpha$  du modèle de 'De Zeeuw' intervient sur la répartition temporelle du débit et donc sur la forme de l'hydrogramme. Une valeur identique pour l'ensemble du bassin versant du Fossé d'Avesnes ne permet pas de représenter fidèlement les débits mesurés. Une valeur propre de  $\alpha$  a été assignée à chacun des sous-bassins versants. Ces valeurs ont été déterminées selon l'organisation des zones urbaines vis-à-vis du réseau hydrographique et après plusieurs simulations-tests par le modèle hydraulique. Elles sont présentées dans le Tableau 9.

	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5	BV6	BV7
$\alpha$	1	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	3

**Tableau 9 : Valeurs du coefficient  $\alpha$  pour chacun des sous-bassins versants**

#### 4.3.3 Influence du modèle hydrodynamique

Les coefficients de rugosité ont été modifiés en respectant les observations physiques de chaque tronçon. Cette analyse de sensibilité n'a pas montré d'influence sur la déformation de l'hydrogramme de l'amont vers l'aval.

Cette propriété du réseau hydrographique du fossé d'Avesnes peut s'expliquer par son anthropisation. Canalisé, rectiligne, géométrique... le cours d'eau transmet sans déformation l'hydrogramme de crue.

Ces ajustements et tests de sensibilité réalisés, l'hydrogramme résultat ne correspondait pas davantage aux mesures. Il a donc fallu s'intéresser à la répartition spatio-temporelle des pluies.

#### 4.3.4 Répartition des précipitations

Les événements dommageables du bassin versant du fossé d'Avesnes sont à caractère orageux. Il a donc été décidé de s'orienter vers ce type d'événement pour mener le diagnostic. Néanmoins, ces événements sont d'une grande variabilité dans l'espace, dans le temps ou encore dans leur amplitude (hauteurs précipitées).

Seule la répartition hétérogène des pluies lors de l'événement du 26 avril 03 peut ainsi permettre ce calage. Des valeurs de décalage temporel des hydrogrammes des sous-bassins versant ont été définies en supposant un déplacement nord-ouest / sud-est de l'orage.

Le Tableau 10 présente les valeurs utilisées.

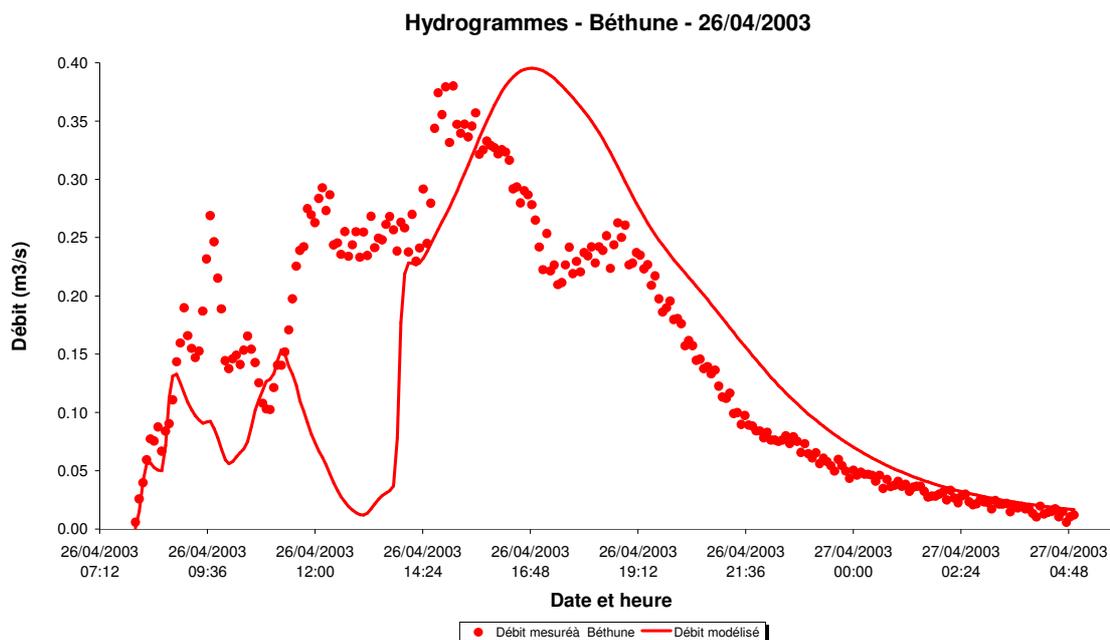
	BV1	BV2	BV3	BV4	BV56	BV6	BV7
Décalage	-1h 10mn	-50mn	+30mn	+50mn	+1h 15mn	-55mn	-1h 20mn

Les valeurs négatives correspondent à un avancement de l'hydrogramme correspondant.

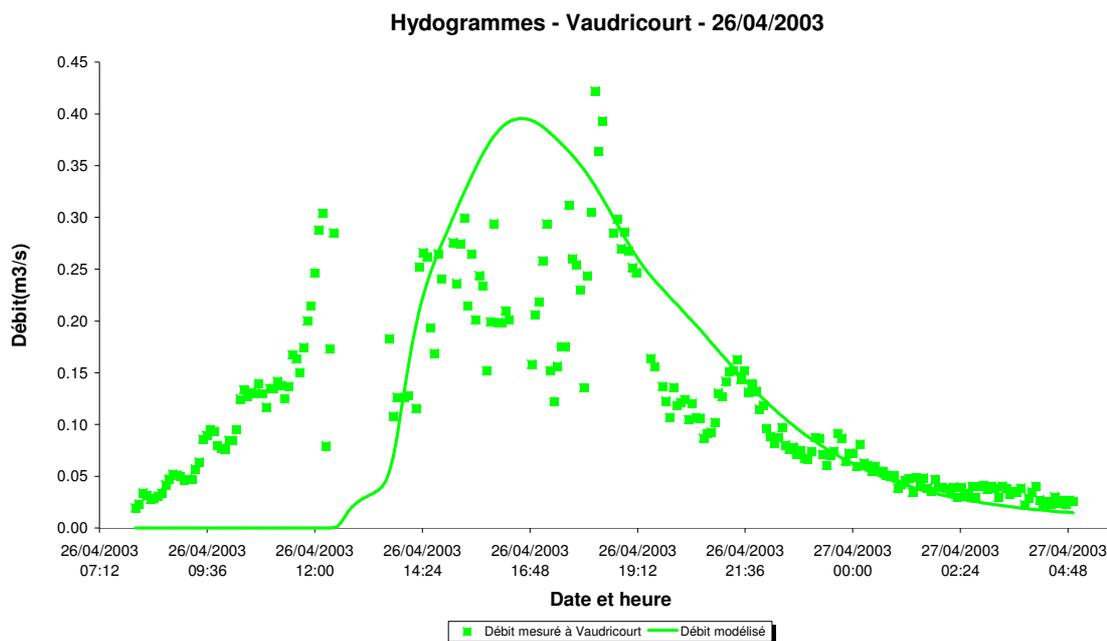
**Tableau 10: Valeurs de décalage temporel supplémentaire des hydrogrammes pour chaque sous-bassin versant**

Ces valeurs ne peuvent être appliquées qu'à l'événement du 26 avril 03. Ainsi, elles ne seront pas utilisées pour la modélisation des événements à caractère exceptionnel. Ce biais reste néanmoins nécessaire pour aboutir à des résultats réels et pour valider les calages hydrologiques et hydrauliques.

Les graphiques Graphique 7 et Graphique 8 présentent les résultats du calage.



**Graphique 7 : Hydrogrammes mesuré et modélisé (Béthune, le 26/04/2003)**



**Graphique 8 : Hydrogrammes mesuré et modélisé (Vaudricourt, le 26/04/2003)**

L'hydrogramme modélisé accuse un retard d'environ 2 h en pointe et la montée de crue est mal représentée. Concernant le retard, il est assez difficile d'y remédier étant donné les valeurs de décalage d'ores et déjà imposées. Ces valeurs respectent néanmoins les temps de concentration pour le sous-bassin versant où se situait le pluviomètre.

Concernant la montée de crue, elle est tronquée à Vaudricourt et sous-estimée à Béthune. Sur Vaudricourt, on peut penser à la réaction hydrologique réelle d'une partie des zones rurales proches des cours d'eau. En effet, l'amont immédiat est peu urbanisé. La prise en compte de la contribution des zones rurales dans la simulation des événements exceptionnels devrait pallier ce manque.

Sur Béthune, on retrouve bien la forme de l'hydrogramme (2 pics relativement aigus) mesurée mais dans une amplitude restreinte. On peut considérer que le coefficient de ruissellement y est sous-estimé en argumentant un caractère urbain plus dense que dans les agglomérations de l'amont. La décrue représentée par le modèle suite à ses deux premiers pics montre le même défaut d'écoulement qu'à Vaudricourt.

Par ailleurs, le modèle hydraulique souffre de certains biais tels que le nombre de profil, leur représentation (6-7 points) ou encore la définition générale des ouvrages de l'amont.

La pointe de crue, la décrue et les volumes écoulés restent correctement représentés.

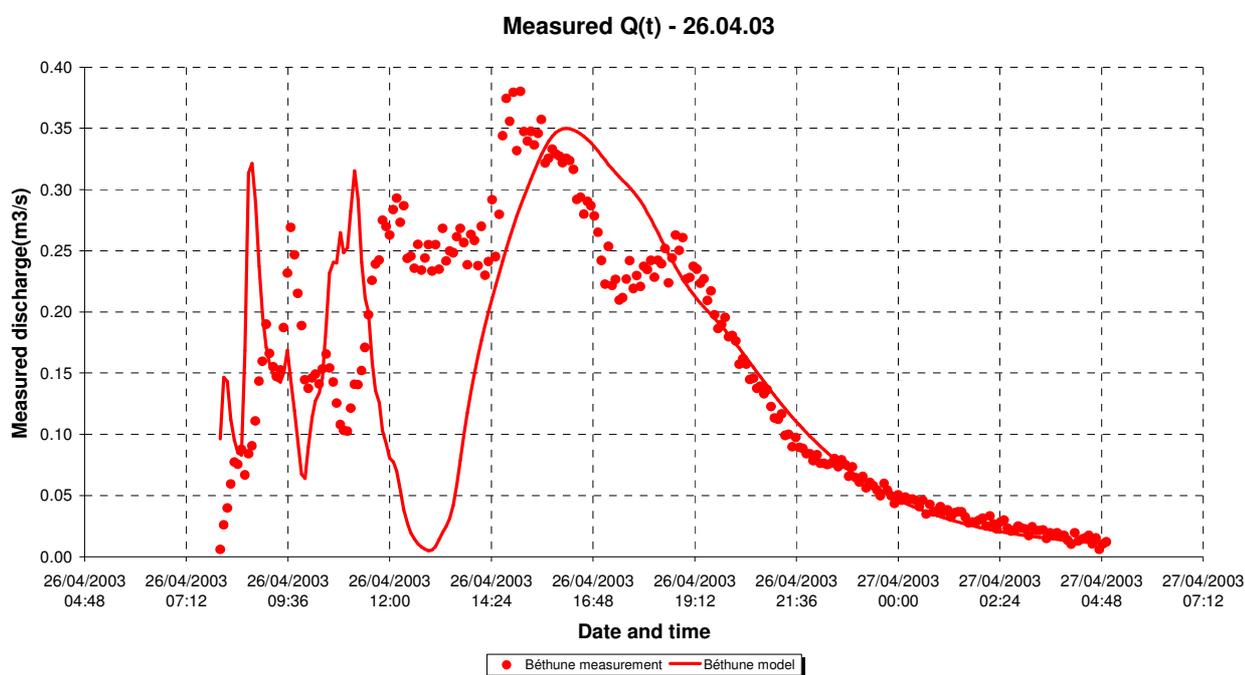
#### **4.4 Derniers ajustements**

Le coefficient de ruissellement employé ne semble néanmoins pas réaliste. Cette valeur est liée, ici, à la définition des zones urbaines. Étant donné la méthode de définition de ces zones et le caractère aggloméré des habitations, il a été décidé de réduire la surface active ce qui a permis d'aboutir à un coefficient de ruissellement plus réaliste en zone urbaine (0,21).

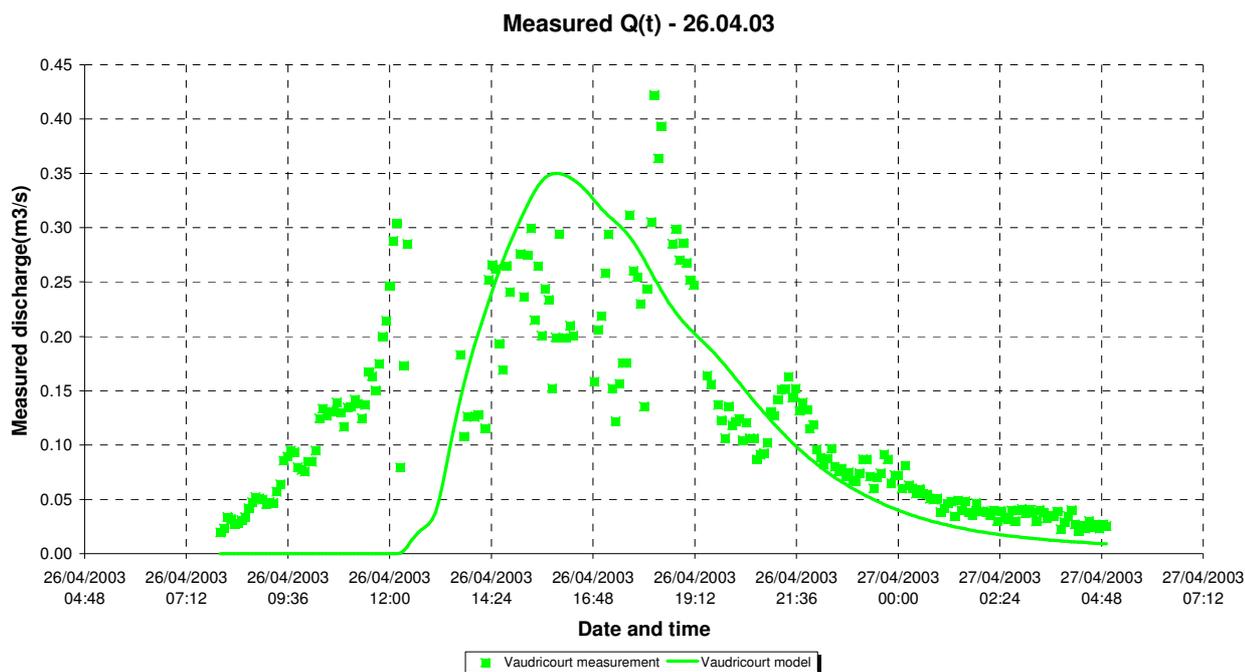
Par ailleurs, l'événement pluvieux du 26 avril est caractérisé, selon les mesures du pluviomètre de Ruitz, par une pluie d'intensité modérée durant près de 6h à laquelle succède une averse intense 1h30 plus tard. Selon les enregistrements de débit à Béthune, il ne semble pas que cette averse ait eu lieu sur Béthune même. Ce second pic a ainsi été supprimé dans les simulations de cet événement.

Enfin, le coefficient de rugosité a été augmenté pour les zones amont (de 20 à 30 m<sup>1/2</sup>/s) afin d'aboutir à une meilleure concordance du pic centrale.

Les résultats de cet ajustement sont présentés par les graphiques Graphique 9 et Graphique 10.



**Graphique 9 : Hydrogrammes mesuré et modélisé selon les derniers ajustements (Béthune, le 26/04/2003)**



**Graphique 10 : Hydrogrammes mesuré et modélisé selon les derniers ajustements (Vaudricourt, le 26/04/2003)**

Ces ajustements permettent de corriger quelques un des défauts du calage précédent et d'apporter une meilleure représentation du fonctionnement réel du bassin versant.

#### 4.5 Ajustement du calage zone rurale pour les événements exceptionnels

Etant donné la relative sécheresse de la période de mesures hydrométriques, le calage du modèle pluie-débit n'a pu être réalisé qu'en zone urbaine. Pour les zones urbaines, il est nécessaire de paramétrer le modèle par le biais d'hypothèses validées en Comité de Pilotage.

Ainsi, le coefficient de ruissellement requis a été estimé à 0,3 lors de la réunion du 26 juin 03.

Par ailleurs, le coefficient  $\alpha$  est estimé à 0,3 ce qui correspond à des sols agricoles bien drainés. Cette valeur semble réaliste si l'on prend en compte la nature du sol et les pentes qui sont observées.

#### 4.6 Limites des modèles

##### 4.6.1 Répartition homogène des pluies

Dans les simulations, l'homogénéité des précipitations sera de mise et aucun décalage temporel ne peut être évalué. Les événements (décennal, cinquantennal) seront surévalués dans leur ampleur. Néanmoins, cette hypothèse pessimiste a été souhaité en Comité de Pilotage afin d'aboutir au sur-dimensionnement des aménagements qui seront proposés.

#### 4.6.2 Représentation géométrique

Le modèle hydraulique dispose d'une représentation schématique du réseau hydrographique.

Ainsi, les profils en travers sont répartis tous les kilomètres. Les ouvrages de traversée sont par ailleurs représentés de la même façon (buse circulaire de diamètre 800 mm) pour l'ensemble des ouvrages de l'amont de Vaudricourt.

Ce biais rend moins aisée la bonne représentation des phénomènes de propagation de crue.

Néanmoins, le modèle, dans sa géométrie, est parfaitement fidèle à la réalité dans sa partie busée aval. De la même manière, les coefficients de rugosité de ces ouvrages sont bien connus. On peut alors considérer que le modèle représentera au mieux les phénomènes de crue là où les problèmes d'inondation sont les plus aigus.

Enfin, les solutions qui seront proposées devraient s'orienter vers la rétention en amont. La représentation géométrique disponible devrait être suffisante à l'évaluation de tels aménagements.

#### 4.7 Validation des modèles

La validation des modèles est menée à partir de l'événement pluvieux du 27 août 02.

Les observations les plus précises étant connues principalement au droit de Béthune, c'est à cet endroit qu'est évalué le modèle (Figure 2).

Les rues surplombant le cours canalisé sont :

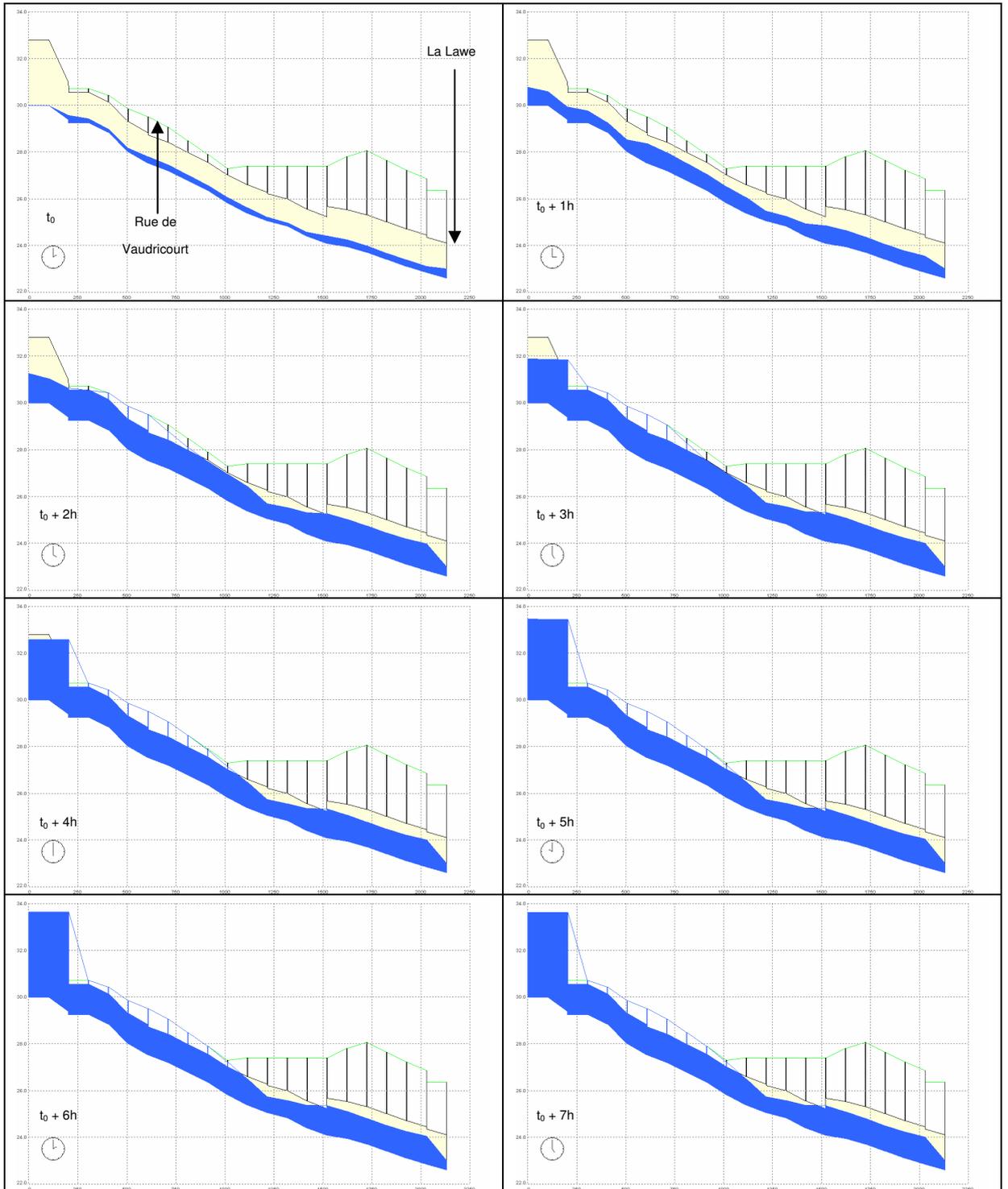
- 0 – 100 m : Réservoir,
- 100 – 400 m : Canalisation entre le réservoir et le Chemin de Vaudricourt,
- 400 – 900 m : Chemin de Vaudricourt / Chemin de Barlin,
- 900 – 1400 m : Rue de Schwerte / Boulevard de la Hollande,
- 1400 – 2000 m : Boulevard de Varsovie.

Les simulations montrent que les inondations ont lieu dans la zone amont de la partie canalisée (Chemin de Vaudricourt / Chemin de Barlin), soit entre 100 et 1000 m selon l'axe horizontal. A cet endroit, la canalisation est en charge et la ligne d'eau atteint le niveau de la rue.

Les inondations se propagent à l'aval entre 4 et 6 heures après le début de la simulation. Les problèmes ont lieu tout d'abord au Chemin de Vaudricourt (4 heures après le début), puis au Chemin de Barlin (6 heures).

A l'aval du Chemin de Barlin, la canalisation n'est pas complètement en charge et la ligne d'eau est inférieure au niveau de la rue pendant toute la simulation. Aucun problème n'a été mis en évidence ici par ces simulations.

Ces conclusions correspondent aux observations fournies par les riverains.



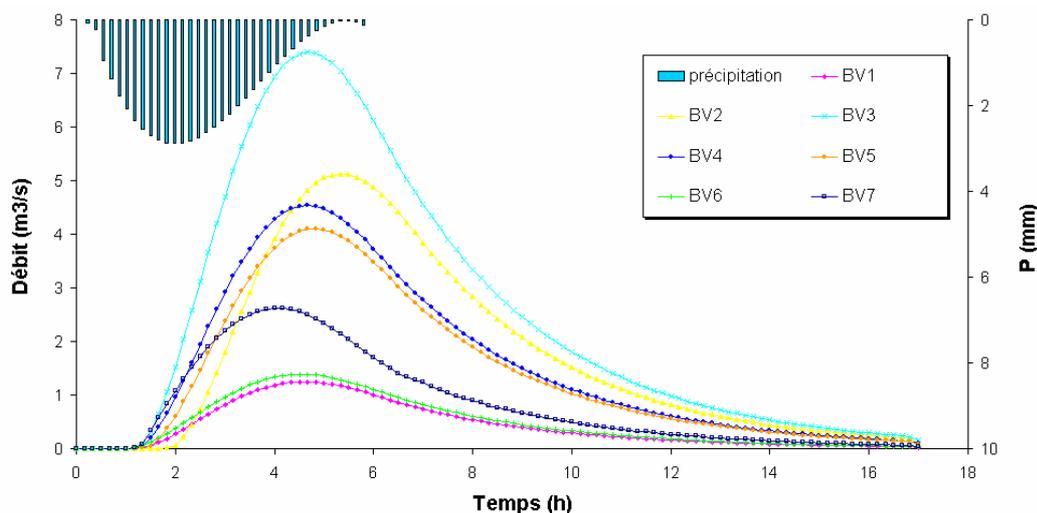
**Figure 2 : Simulation de la crue du 27 août 02 à Béthune**

## 5 SIMULATIONS D'ORAGES DE PROJET

Les scénarios simulés sont ceux d'un orage de 6h de période de retour 10 ans et d'un orage de même durée de période de retour 50 ans.

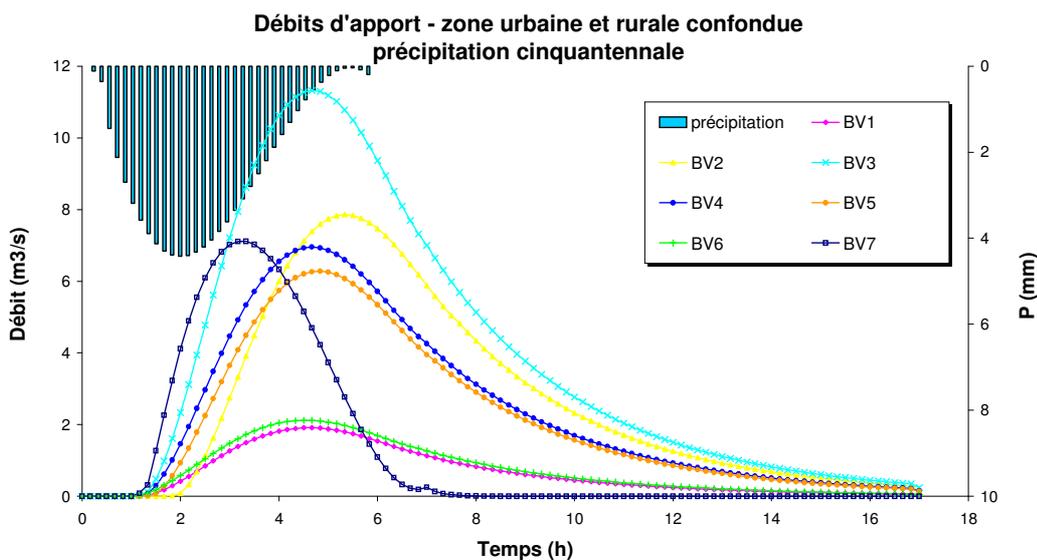
### 5.1 Hydrogrammes d'entrée

#### 5.1.1 Orage décennal



**Graphique 11 : Débits d'apport – zones urbaine et rurale confondues – Orage décennal**

#### 5.1.2 Orage cinquantennal



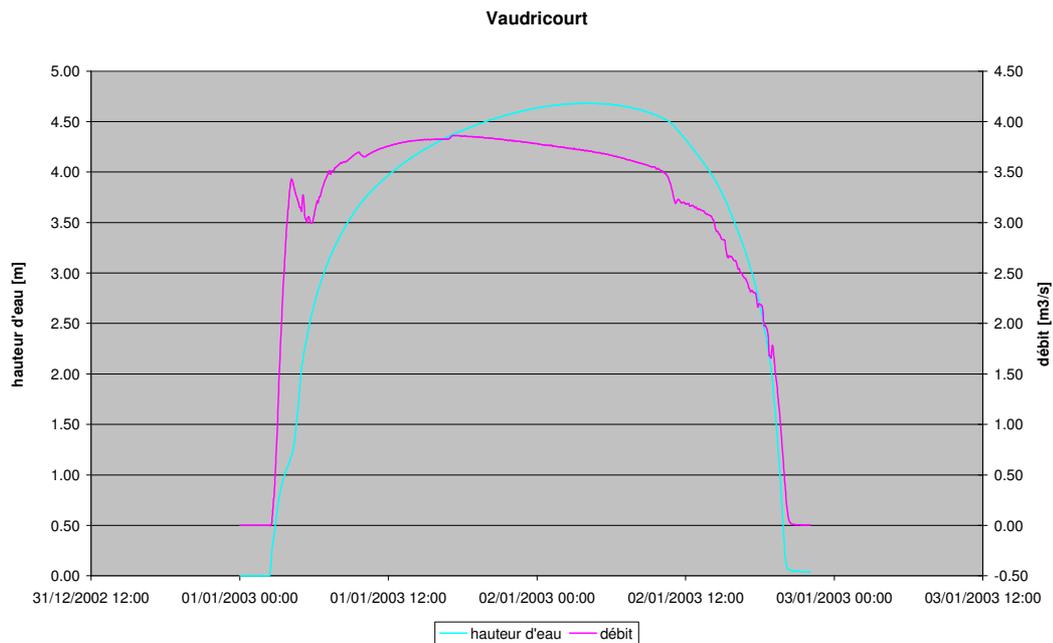
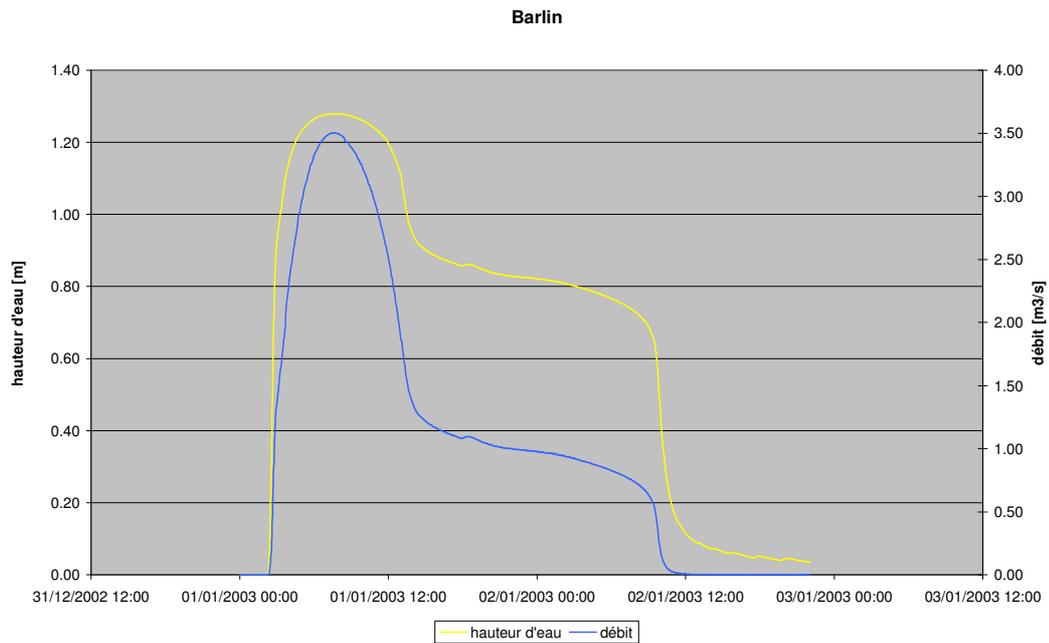
**Graphique 12 : Débits d'apport – zones urbaine et rurale confondues – Orage cinquantennal**

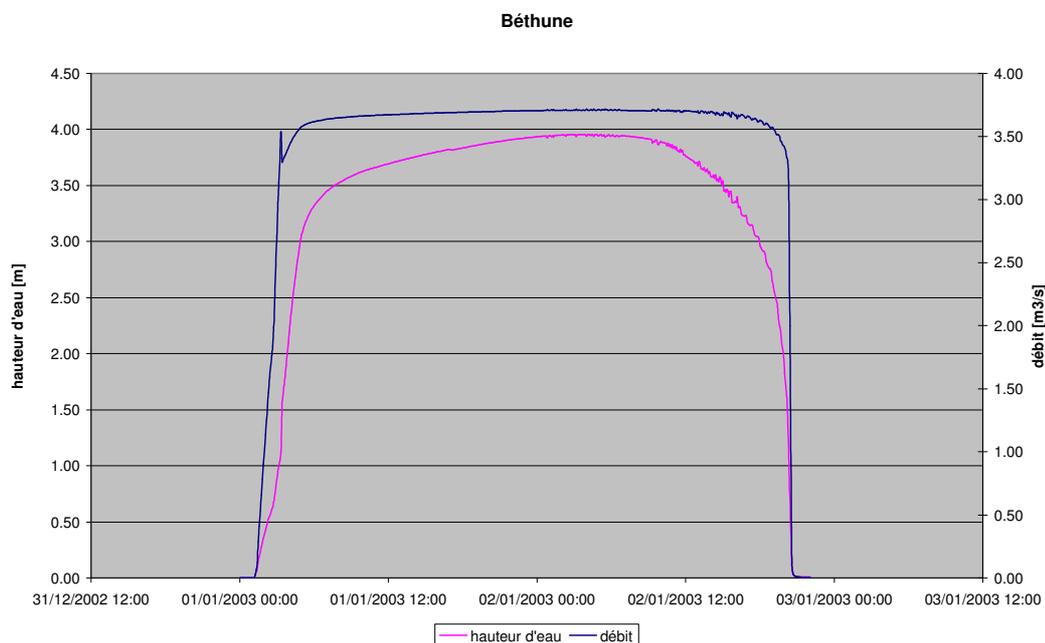
## 5.2 Conditions limites aval

Sans information précise sur les fluctuations du niveau de la Lawe, il a été décidé d'appliquer une cote constante pour chacun des scénarios. Ainsi, la cote aval pour l'orage décennal a été fixée à 50 cm au-dessus du tablier de la buse exutoire dans la Lawe. Pour l'orage cinquantennal, une sur-cote de 1m a été appliquée.

## 5.3 Résultats pour l'orage décennal

### 5.3.1 Hauteur d'eau et débit d'amont en aval



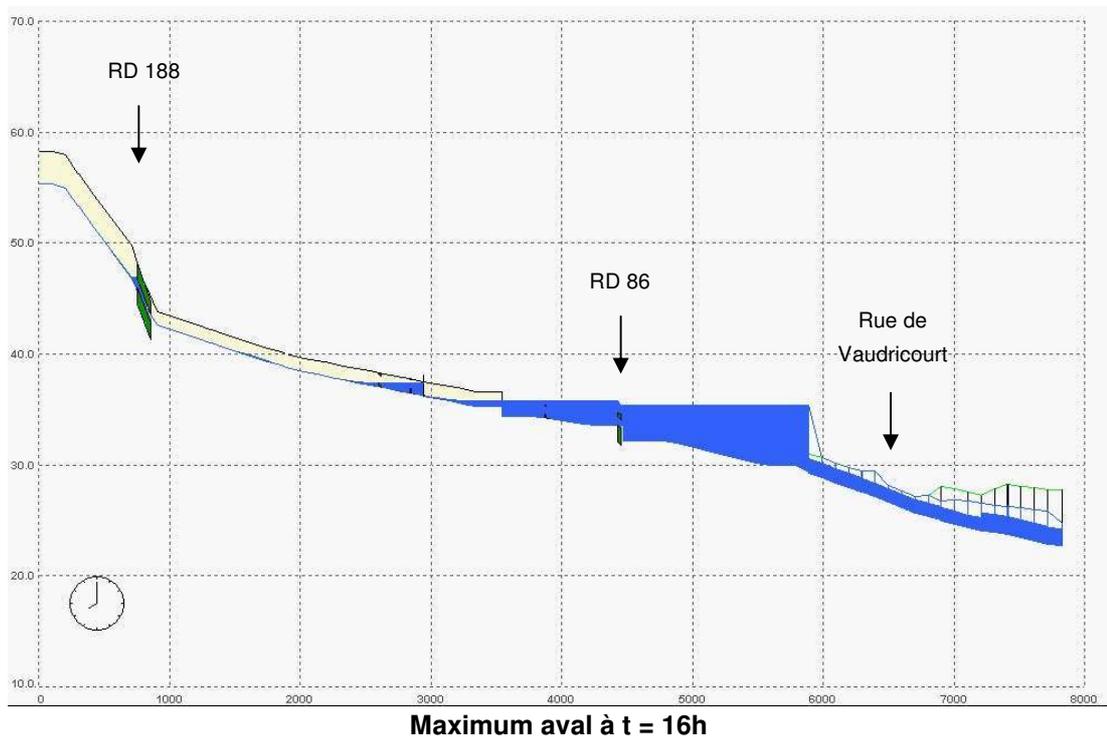
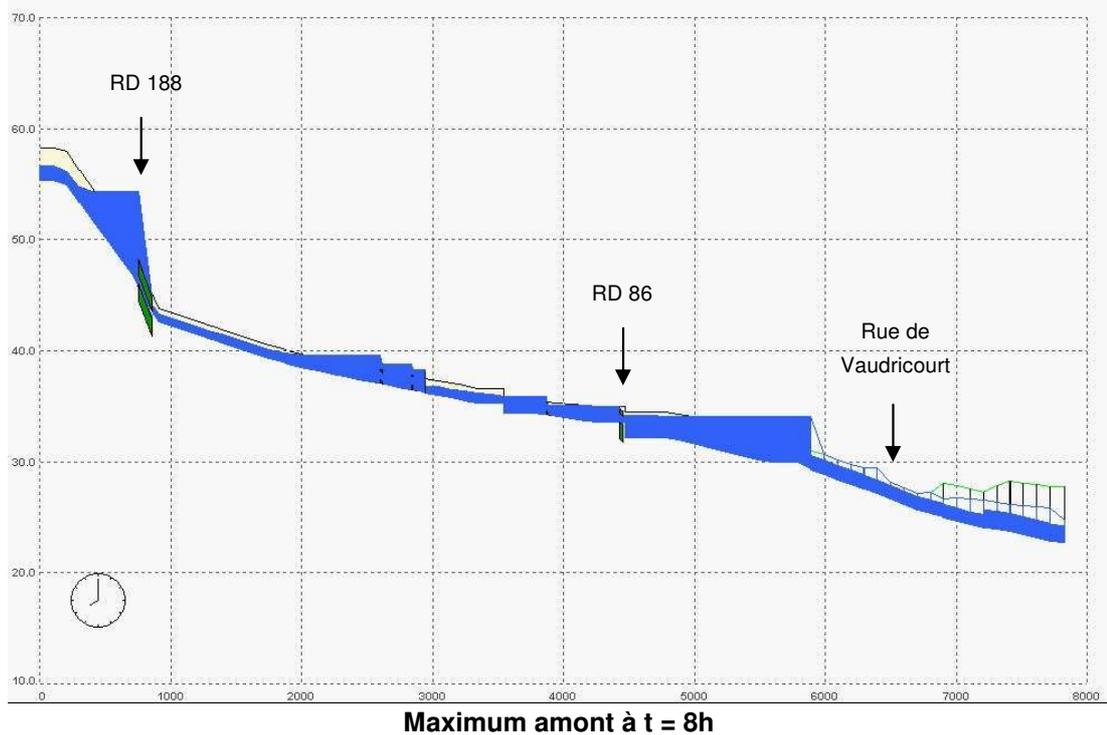


**Graphique 13 : Hauteurs d'eau et débits calculés lors d'un orage décennal**

On constate principalement l'importance de l'influence du dimensionnement du réseau sous Béthune. Celui-ci a une capacité en débit limitée à 3,7 m<sup>3</sup>/s ce qui influence directement les écoulement au droit de Vaudricourt.

Sur l'amont (Barlin), on constate néanmoins l'influence des ouvrages de traversée qui déforme l'hydrogramme à partir du moment où le réseau hydrographique s'est rempli.

### 5.3.2 Profil en long de la branche de Bruay à Béthune (branche ouest)

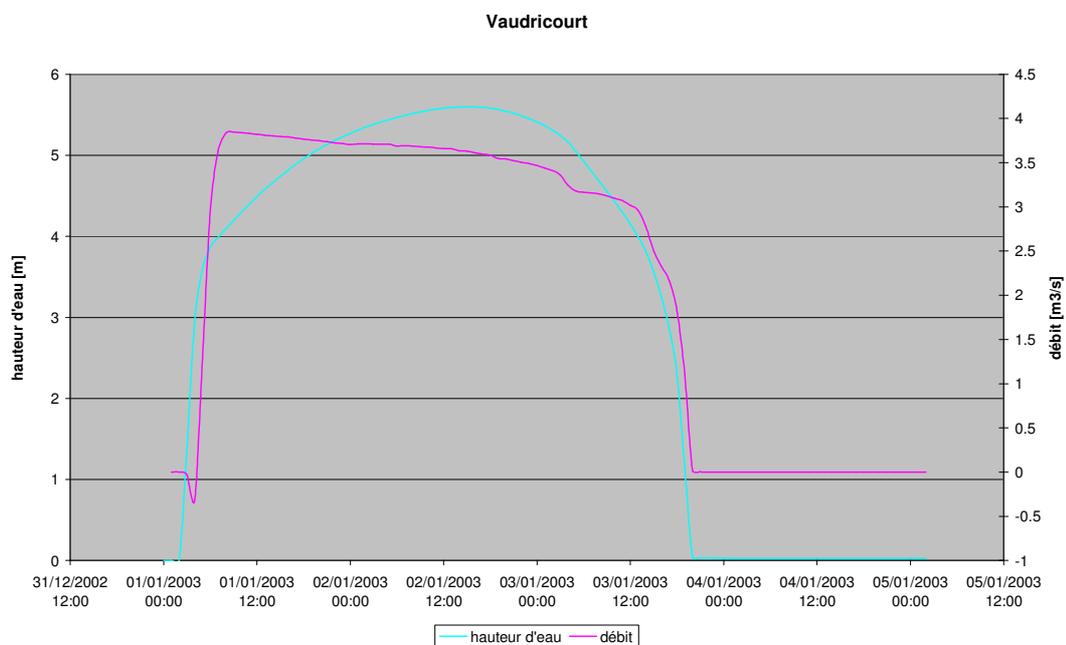
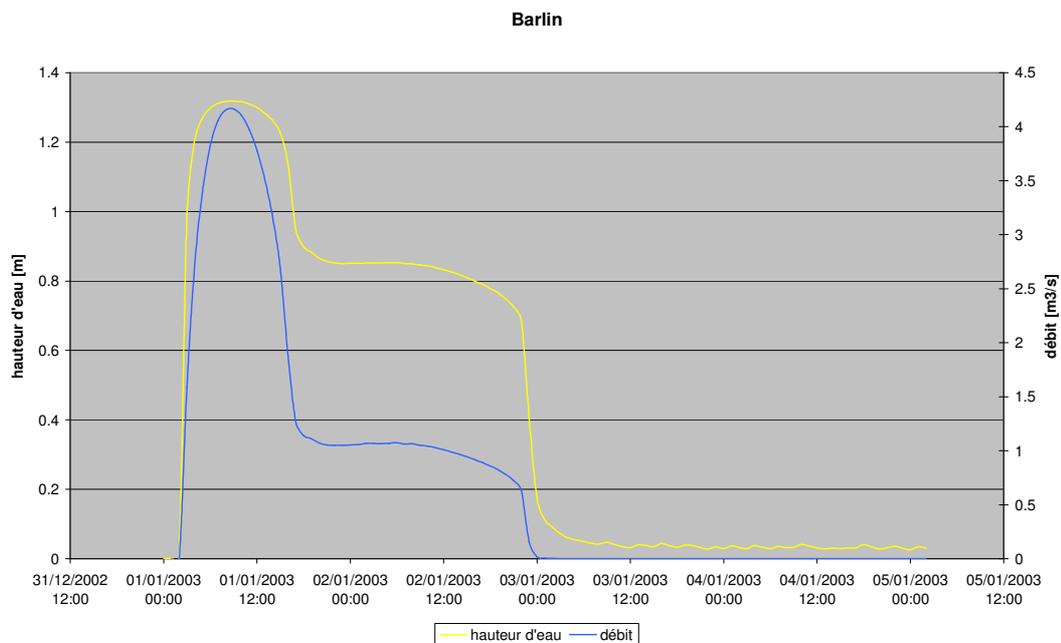


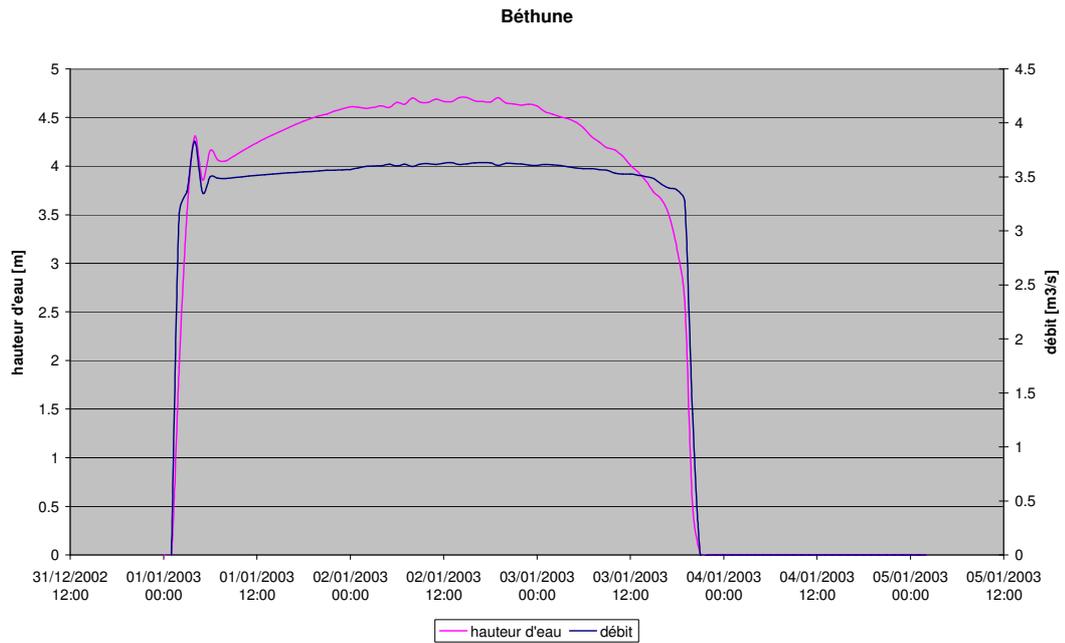
**Figure 3 : Profils en long de la branche ouest lors de l'orage décennal**

La simulation de l'orage décennal souligne bien les zones de dysfonctionnement identifiées. On constate également l'influence des différents ouvrages de traversée qui ralentissent modérément l'onde de crue. La période critique, rue de Vaudricourt est donc très longue et durerait près de 24h si un tel événement survenait.

## 5.4 Résultats pour l'orage cinquantennal

### 5.4.1 Hauteur d'eau et débit d'amont en aval

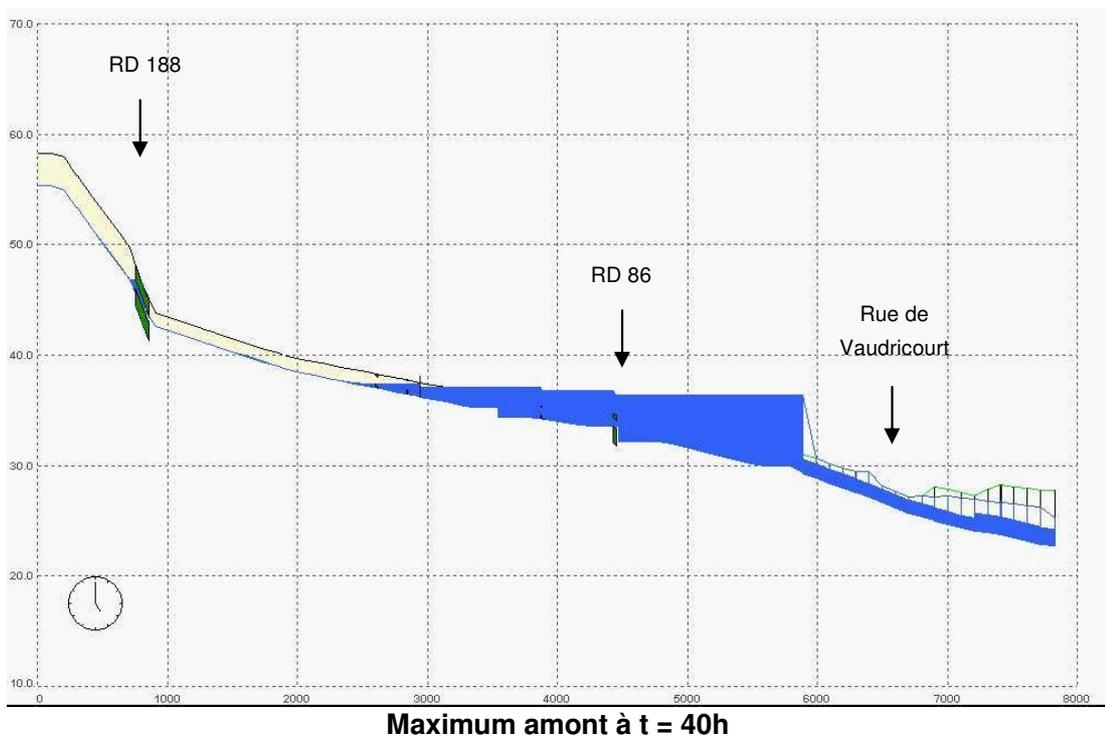
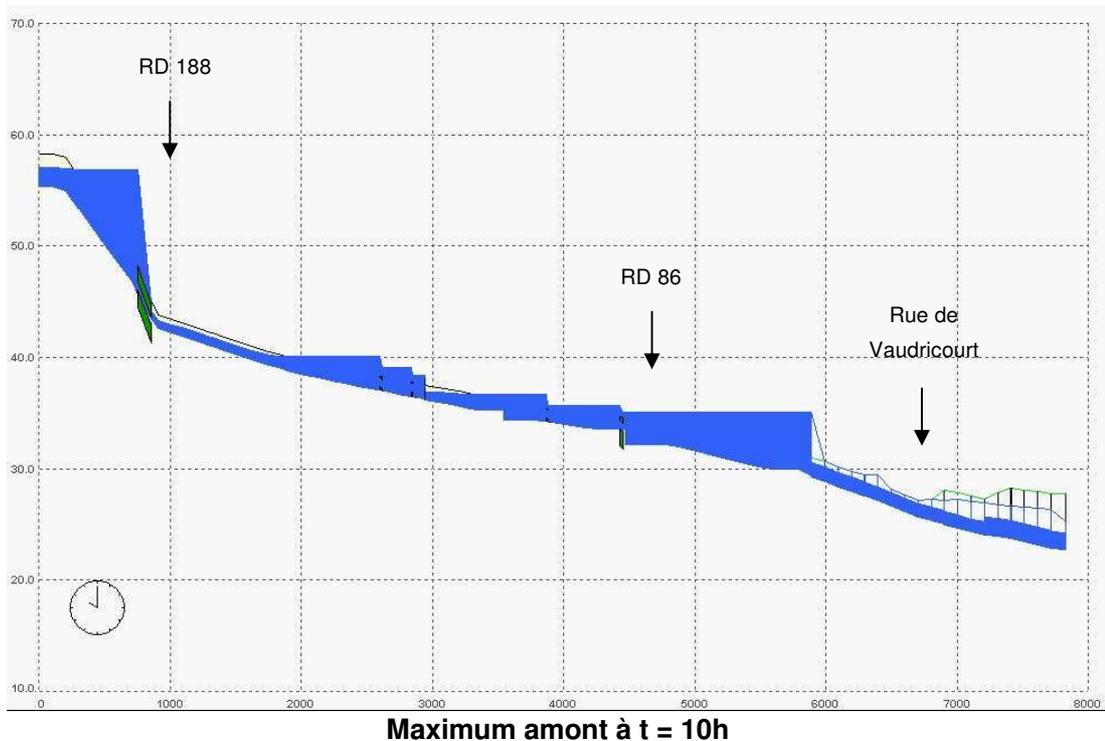




**Graphique 14 : Hauteurs d'eau et débits calculés lors d'un orage cinquantennal**

Etant donné la mise en charge rapide du réseau sous Béthune, les mêmes constatations qu'en orage décennal peuvent être effectuées.

### 5.4.2 Profil en long de la branche de Bruay à Béthune (branche ouest)



**Figure 4 : Profils en long de la branche ouest lors de l'orage décennal**

Le phénomène de crue cinquantennale est bien plus dommageable que celui d'un orage décennal que ce soit en amplitude ou en durée de submersion.