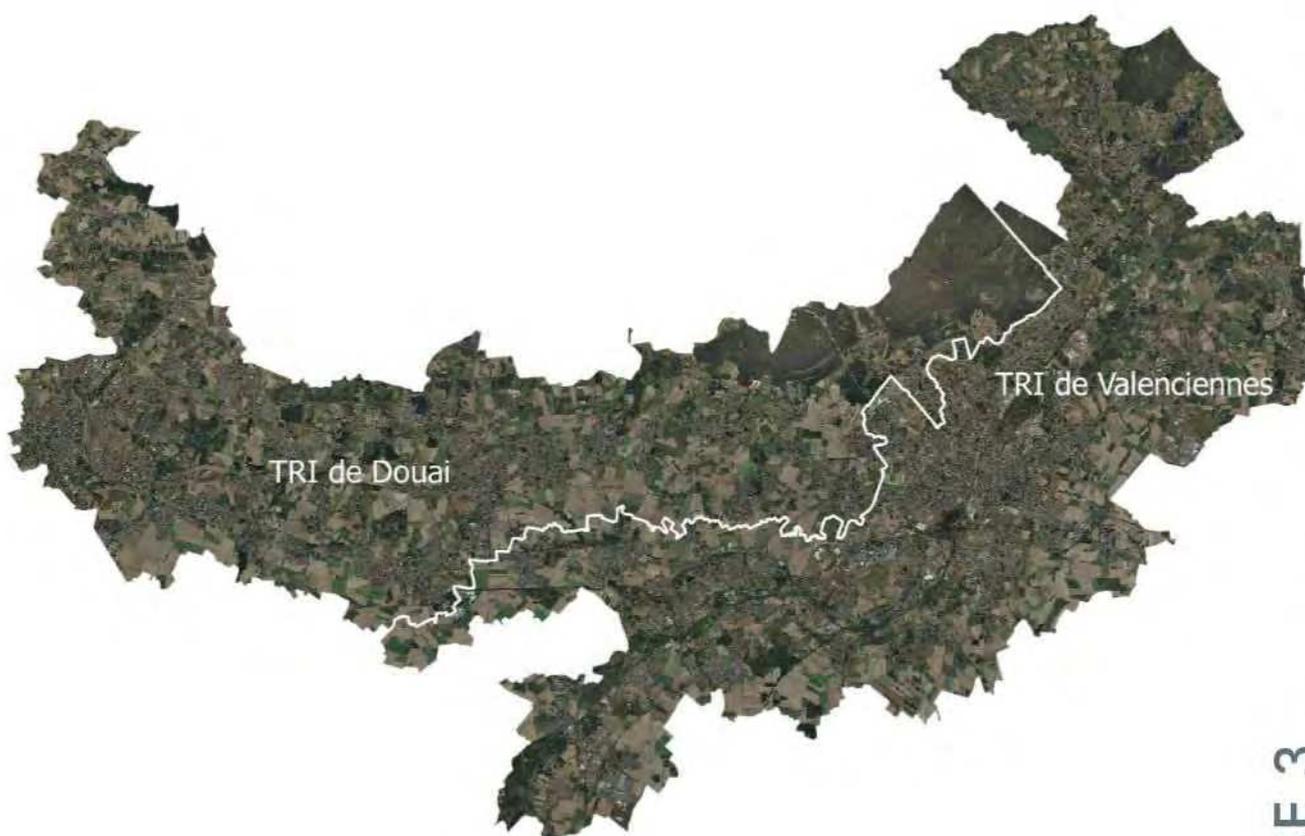


TRI de Valenciennes et Douai



PHASE 3

Cartographie des zones inondables
Croisement hydrogéomorphologie / LIDAR

Affaire n° 13-378-01

Version	Date	Rédigé par	Validé par
0	18/12/2013	B. CHANUT	A. KOCH
1	17/10/2013	B. CHANUT	A. KOCH

Remarques :

Table des matières

1: Contexte et objectifs de l'étude.....	4
1.1 Contexte réglementaire.....	4
1.2 Les objectifs	4
2: Méthodologie.....	5
2.1 Approche adoptée.....	5
2.2 Création du MNSLE.....	6
2.2.1 Méthode usuelle.....	6
2.2.2 Méthode employant la mobilisation numérique du lit majeur.....	7
2.2.2.1 Sectorisation des lits majeurs.....	7
2.2.2.2 Création de profils en travers au sein des lits majeurs.....	8
2.2.3 Affectation d'une cote d'eau aux profils en travers.....	9
2.2.4 Création du MNSLE.....	14
2.3 Croisement MNSLE/MNT.....	14
2.3.1 Principe du croisement.....	14
2.3.2 Résultats du croisement MNSLE/MNT.....	14
2.4 Les incertitudes.....	17
3: Mise en œuvre de la méthode pour les TRI de Douai et de Valenciennes.....	19

Index des illustrations

Figure 1 - Représentation de la surface libre d'un champ d'inondation (source MNT : georezo.net)...	6
Figure 2 - Principe d'interpolation de profils en travers (en bleus) pour obtenir une surface d'eau (en jaune).....	7
Figure 3 - a) Choix du profils en travers pour l'isocote considérée ; b) décroissance amont/aval de la ligne d'eau.....	7
Figure 4 - Zones inondées des TRI de Douai et Valenciennes (résultat de la mobilisation numérique)	9
Figure 5 - Iso-cotes d'eau issues de la mobilisation numérique du lit majeur (ici, de l'Escaut).....	10
Figure 6- Évolution de la zone inondée au niveau d'un profil en travers situé à l'amont de la confluence entre l'Escaut et la Rhônelle.....	11
Figure 7 - Profils en travers réalisés en vue du MNSLE du lit majeur de l'Escaut.....	12
Figure 8 - Profil en long de l'Escaut.....	13
Figure 9 - Profil en long de la Scarpe.....	13
Figure 10 - Évolution de la zone inondée dans un secteur situé à l'amont de la confluence entre l'Escaut et le canal de Condé-Pommeroeul.....	15
Figure 11 - Schématisation de l'opération croisement MNSLE/MNT.....	16
Figure 12 - Hauteurs de submersion dans le secteur amont du TRI de Valenciennes.....	17
Figure 13- Hauteurs de submersion au niveau des confluences de la Selle et de la Rhônelle.....	18
Figure 14 - Hauteurs de submersion au niveau de la confluences du canal de Condé-Pommeroeul..	19

Index des tables

Tableau 2.1 - Variations de la cote d'eau en fonction du pas de temps considéré pour 3 secteurs de l'Escaut.....	18
--	----

1: Contexte et objectifs de l'étude

1.1 Contexte réglementaire

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation, transposée en 2010 en droit français.

Cette directive fixe un cadre et un calendrier afin d'aboutir en 2015 à l'élaboration de plans de gestion des risques d'inondation (PGRI) à l'échelle des districts hydrographiques.

Après une première étape d'évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI) achevée en décembre 2011, puis une seconde d'identification des territoires à risque important d'inondation (TRI) terminée en septembre 2012, la procédure est actuellement à la phase d'élaboration des cartes des surfaces inondables et des cartes des risques dans les TRI pour trois probabilités d'occurrence de crue, objet de la présente étude.

Cette étude se déroule en 5 phases :

- phase 1 : analyse de la documentation et du fonctionnement du bassin versant
- phase 2 : cartographie hydrogéomorphologique sur les TRI
- **phase 3 : cartographie des zones inondables par un croisement hydrogéomorphologie/LIDAR sur les TRI**
- phase 4 : modélisation simplifiée et cartographie des zones inondables
- phase 5 : harmonisation des cartographie sur le TRI de Douai

Le présent document concerne la phase 3 de l'étude.

1.2 Les objectifs

Cette phase a pour objectif de produire des cartes des zones inondables des TRI de Douai et de Valenciennes. Ces cartes fournissent les hauteurs d'eau des zones inondées et sont obtenues par un croisement entre les cartes hydrogéomorphologiques produites dans le cadre de la phase 2 et le modèle numérique de terrain (MNT).

2: Méthodologie

2.1 Approche adoptée

Il n'existe à ce jour pas de méthode type approuvée permettant d'obtenir une carte de hauteurs d'eau à partir d'une empreinte d'inondation donnée. Si le principe se veut relativement simple, à savoir déterminer l'altitude du champ d'inondation par une confrontation entre la topographie et l'empreinte de la zone inondée, sa mise en œuvre demeure cependant délicate car son résultat est inhérent à la précision de la topographie et de la limite du champ d'inondation.

Ici, l'empreinte du champ d'inondation exceptionnelle est l'empreinte du lit majeur obtenue dans le cadre de la phase 2 de la présente étude par l'approche hydrogéomorphologique. Il s'agit ainsi d'obtenir les hauteurs d'eau au sein de l'empreinte du lit majeur.

La première étape consiste en la création d'un modèle numérique de surface libre en eau (MNSLE). Il s'agit de la surface du champ d'inondation. La figure 1 illustre, à l'aide d'un exemple de modèle numérique de terrain arbitraire, la représentation de la surface libre en eau d'un champ d'inondation dont les limites sont données par les pointillés rouge.

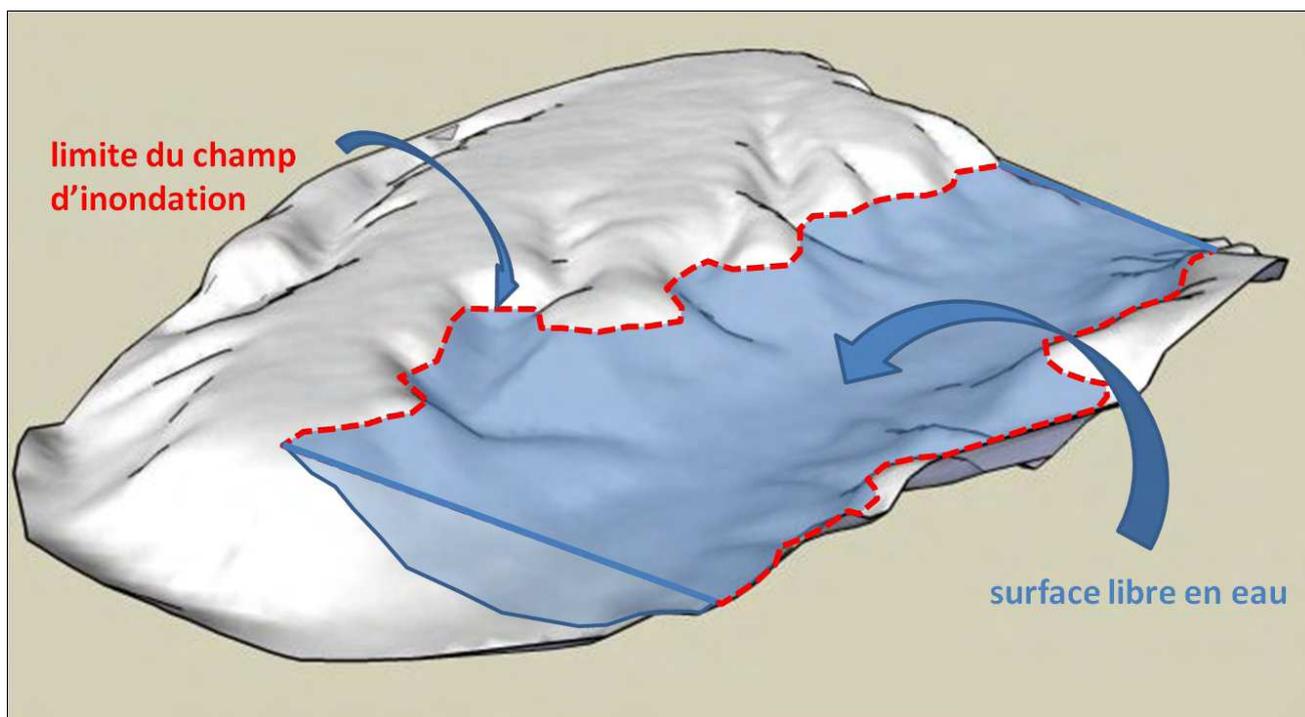


Figure 1 - Représentation de la surface libre d'un champ d'inondation (source MNT : georezo.net)

Le format du modèle numérique de surface libre en eau est une grille au format Raster dont chaque maille contient la cote d'eau.

La seconde étape consiste à croiser le MNSLE avec la topographie (MNT) afin d'obtenir en chaque maille du MNSLE la hauteur d'eau (différence entre la cote d'eau et la cote du terrain).

2.2 Création du MNSLE

2.2.1 Méthode usuelle

La création du MNSLE est basée sur l'interpolation de profils en travers du champ d'inondation pour lesquels une cote d'eau est définie. La figure suivante illustre l'interpolation de plusieurs profils en travers permettant de définir une surface d'eau (en jaune sur la figure).

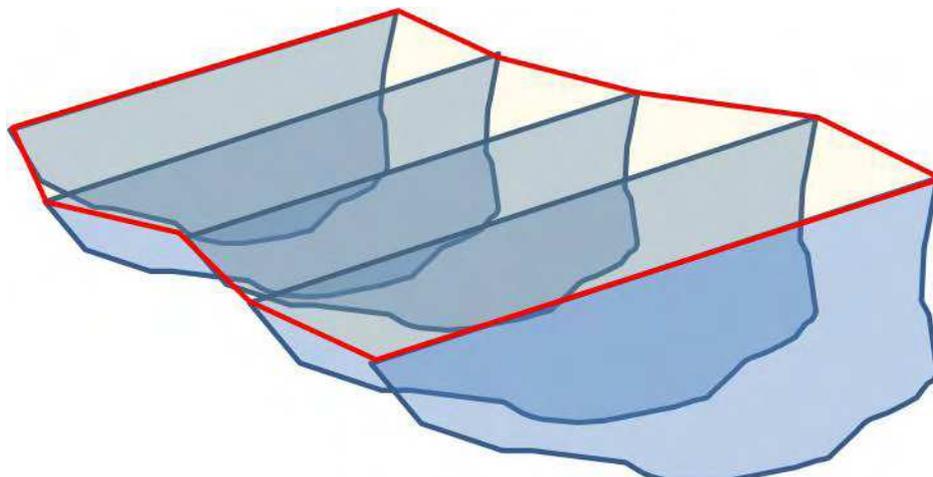


Figure 2 - Principe d'interpolation de profils en travers (en bleus) pour obtenir une surface d'eau (en jaune)

Pour chacun des profils en travers, une cote d'eau doit être définie. La difficulté réside ici dans l'obtention de l'isohypse d'eau (ou isocote d'inondation) et donc dans le choix du profil en travers. En effet, ces profils en travers sont basés sur l'altitude des points appartenant à la limite du champ d'inondation.

La précision de la limite du champ d'inondation prend ici toute son importance car elle conditionne le choix des profils en travers. Se pose également la nécessité de la décroissance en altitude de la ligne d'eau (ou de la limite du champ d'inondation) d'amont en aval. Ces difficultés sont illustrées dans la figure suivante.

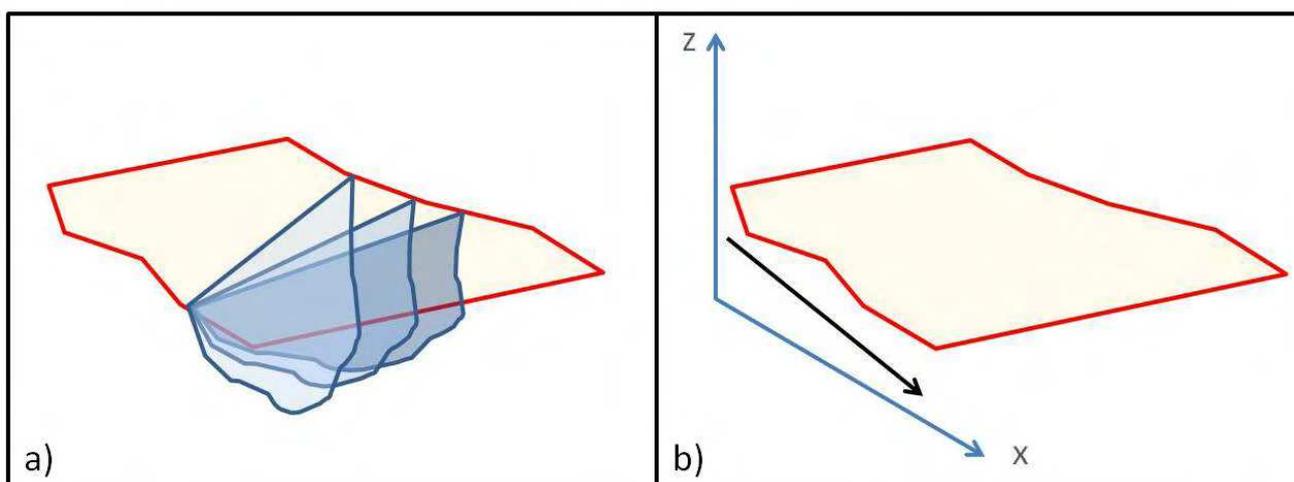


Figure 3 - a) Choix des profils en travers pour l'isocote considérée ; b) décroissance amont/aval de la ligne d'eau

2.2.2 [Méthode employant la mobilisation numérique du lit majeur](#)

Dans le cadre de la phase 2 de la présente étude, nous avons présenté une méthode numérique de mobilisation du lit majeur afin de permettre une correction des emprises du lit majeur issues de l'analyse visuelle de la topographie. Cette méthode consiste à mettre en œuvre un modèle hydraulique bidimensionnel schématisé du secteur d'étude, en maillant celui-ci avec des mailles fines aux abords de l'emprise du lit majeur et de mobiliser ce dernier en injectant un débit croissant par paliers suffisamment loin à l'amont des TRI afin d'éviter les effets de bords.

Cette approche numérique permet d'obtenir l'emprise inondée par une crue exceptionnelle dont la période de retour ne peut cependant pas être estimée. Une illustration des zones inondées obtenue par cette approche numérique est donnée dans la figure 4.

A noter que cette approche prend en compte les éléments topographiques naturels comme anthropiques. L'approche hydrogéomorphologique n'est pas censée prendre en compte les éléments topographiques anthropiques, elle n'est d'ailleurs pas adaptée aux territoires fortement anthropisés. La prise en compte de ces éléments par l'approche numérique peut donc à la fois apparaître comme une entorse à l'approche hydrogéomorphologique tout en rendant compte d'une emprise plus réaliste du lit majeur dans un contexte fortement urbanisé.

Conscient de ce fait, cette approche numérique présente cependant l'avantage de connaître la cote d'eau en chaque maille du domaine d'étude.

2.2.2.1 *Sectorisation des lits majeurs*

La première phase de cette méthode a consisté à découper les lits majeurs en secteurs homogènes en termes de mobilisation du lit majeur. La figure 4 illustre un découpage en secteurs du lit majeur de l'Escaut.

Pour chacun des secteurs, le principe est d'analyser d'une manière dynamique le remplissage progressif du lit majeur. Cela revient à augmenter les paliers d'injection d'eau (i.e de se déplacer dans le temps de la simulation « pseudo-hydraulique ») jusqu'à ce que l'eau atteigne les limites du lit majeur du secteur considéré. Rappelons que la mobilisation du lit majeur dépend du temps et de la localisation du secteur considéré.

Puisque le maillage du lit majeur nécessaire à l'approche numérique contient l'information « cote d'élévation de l'eau », il est ainsi possible d'obtenir un MNSLE pour chaque secteur sans passer par l'obtention de profils en travers dont la réalisation peut s'avérer délicate. Il suffit alors de créer une grille Raster pour laquelle chaque élément (maille carrée) se verra attribuer la cote d'eau de la maille de l'approche numérique correspondante.

Pour deux secteurs successifs (amont/aval), la continuité de la ligne d'eau entre les paliers doit être vérifiée tout comme sa décroissance entre l'amont et l'aval.

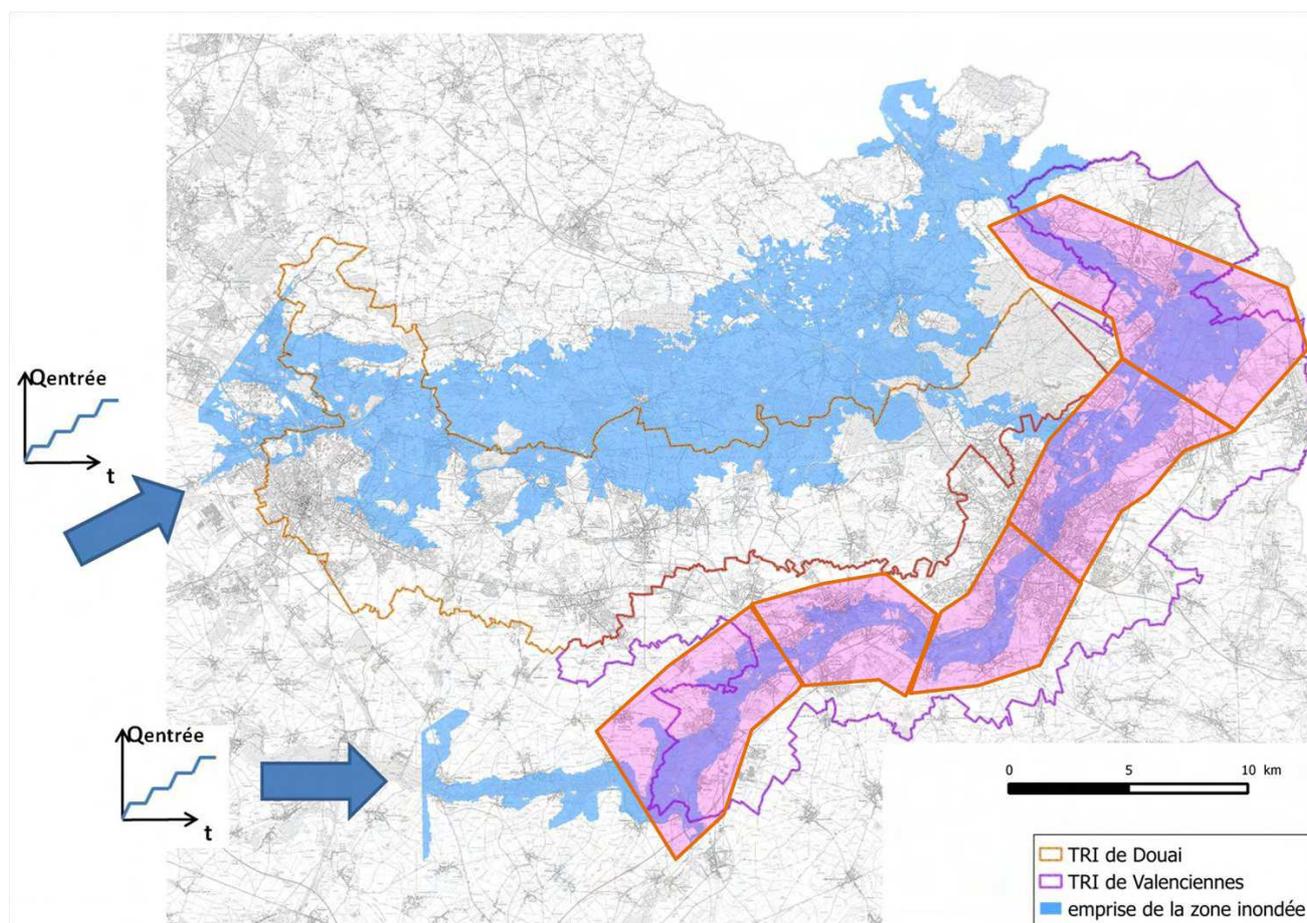


Figure 4 - Zones inondées des TRI de Douai et Valenciennes (résultat de la mobilisation numérique)

Le respect de la continuité de la ligne d'eau d'amont en aval a constitué le principal obstacle de cette méthode. En effet, comme précisé précédemment, la mobilisation numérique du lit majeur prend en compte les éléments anthropiques situés au sein du lit majeur. Certains remblais, qui peuvent couper en travers le lit majeur, retiennent l'inondation jusqu'à surverse, créant ainsi des discontinuités de la ligne d'eau.

Pour palier à cette difficulté, il a été nécessaire d'adapter cette méthode à une échelle spatiale (et donc temporelle dans le sens de la mobilisation numérique des lits majeurs) plus fine.

2.2.2.2 Création de profils en travers au sein des lits majeurs

A cette échelle, il ne s'agit plus de remplissage du lit majeur sur de larges secteurs comme illustrés dans la figure 4 mais à l'échelle des profils en travers définis tout au long du linéaire du lit majeur du cours d'eau considéré.

La création de ces profils en travers, pour lesquels une cote d'élévation de l'eau sera définie, passe au préalable par l'obtention des iso-cotes d'eau par l'approche numérique de mobilisation du lit majeur. Comme il a été précisé plus haut, nous rappelons que l'approche numérique consiste à remplir progressivement le lit majeur du cours d'eau dans sa situation actuelle, c'est à dire en prenant en compte les éléments topographiques naturels comme anthropiques.

Aussi, les iso-cotes d'eau, en raison de l'anthropisation, peuvent prendre des formes parfois complexes (Cf.

figure 5).

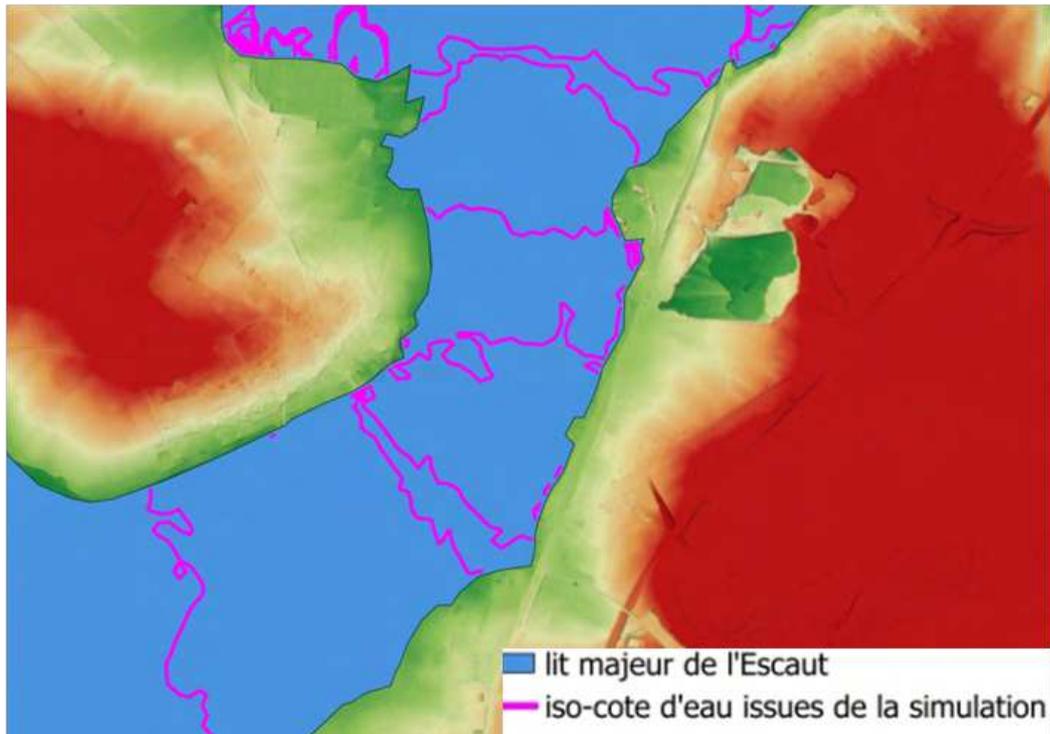


Figure 5 - Iso-cotes d'eau issues de la mobilisation numérique du lit majeur (ici, de l'Escaut)

Pour chacun des lits majeurs de la Scarpe aval et de l'Escaut, des couches SIG de profils en travers ont été créées. Un exemple pour le cas de l'Escaut est donné dans la figure 7.

2.2.3 [Affectation d'une cote d'eau aux profils en travers](#)

Une fois les profils créés, l'étape suivante consiste à affecter pour chacun des profils une cote d'élévation de l'eau. Pour cette étape, et dans un souci de respecter la décroissance de la ligne d'eau d'amont en aval, nous avons procédé d'aval en amont à partir du profil en travers situé le plus en aval du lit majeur considéré.

A partir des résultats de la mobilisation numérique du lit majeur, pour chaque profil en travers, la méthode se base sur l'obtention du pas de temps pour lequel l'emprise de la zone inondée (« numérique ») se cale sur l'emprise du lit majeur au niveau du profil en travers, puis sur l'affiliation de la cote d'eau au profil. Le calage de l'emprise inondée sur les limites du lit majeur est illustré dans la séquence d'images de la figure 6.

Cette figure montre l'évolution de la zone inondée pour 6 pas de temps (de la simulation « pseudo-hydraulique ») successifs.

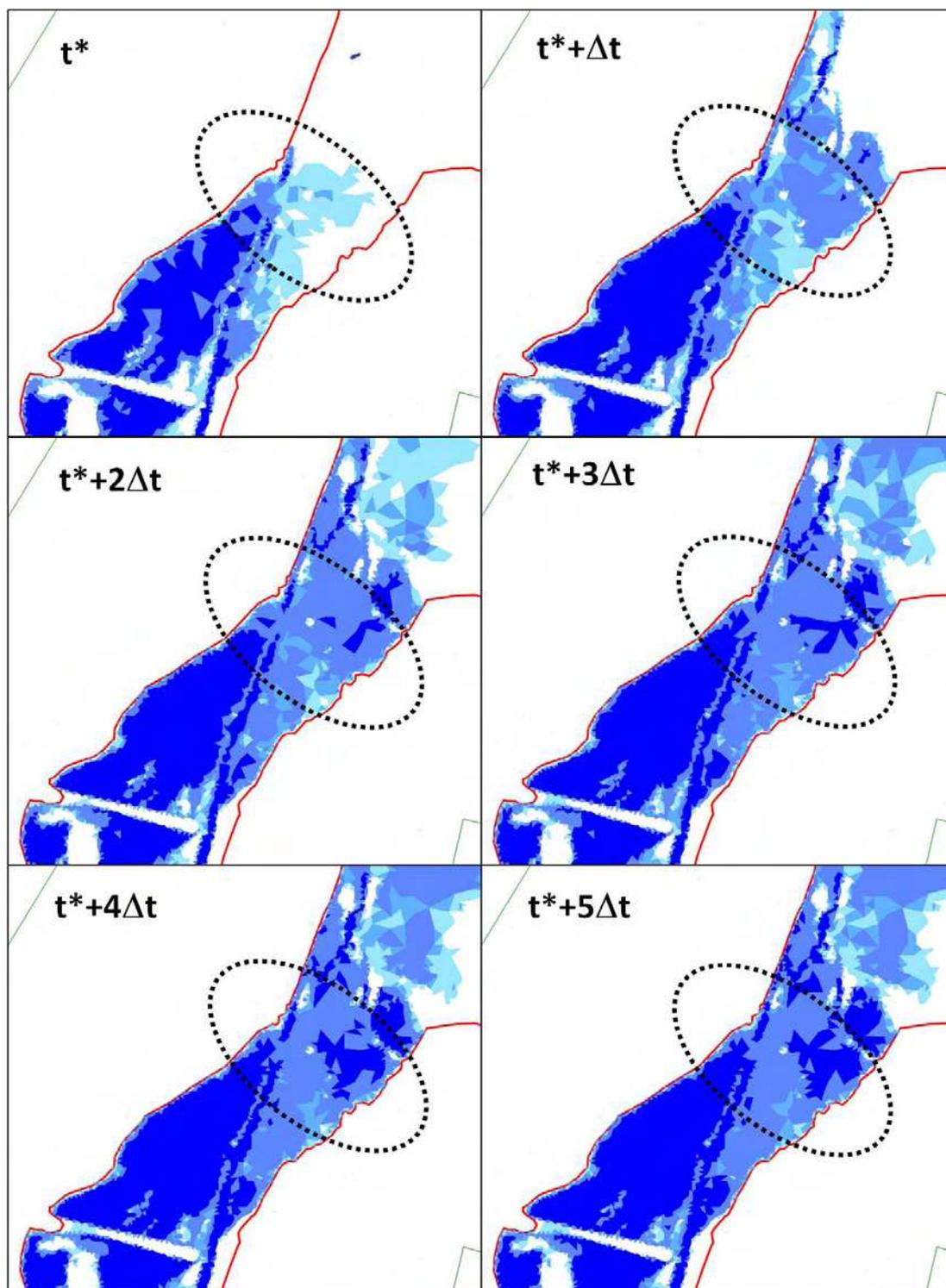


Figure 6- Évolution de la zone inondée au niveau d'un profil en travers situé à l'amont de la confluence entre l'Iscaut et la Rhônelle

Pour les 2 premiers pas de temps, l'emprise inondée n'atteint pas encore les limites du lit majeur. Au pas de temps $t^*+3\Delta t$, elle atteint sur les deux rives les limites du lit majeur. Au-delà de ce pas de temps, l'emprise de la zone inondée n'évolue plus latéralement, car ce secteur est encaissé, en revanche la cote d'élévation de l'eau continue d'augmenter. Dans cet exemple, la cote d'eau à affecter au profil en travers situé dans le secteur entouré par le cercle en pointillé noir est donc la cote du pas de temps $t^*+3\Delta t$.

Cette méthode est appliquée pour chacun des profils en remontant vers l'amont (et donc en remontant « dans le temps » de la simulation) tout en vérifiant la décroissance de la ligne d'eau d'amont vers l'aval (cf. les profils en long de la ligne d'eau obtenu pour l'Escaut et la Scarpe respectivement figures 8 et 9).

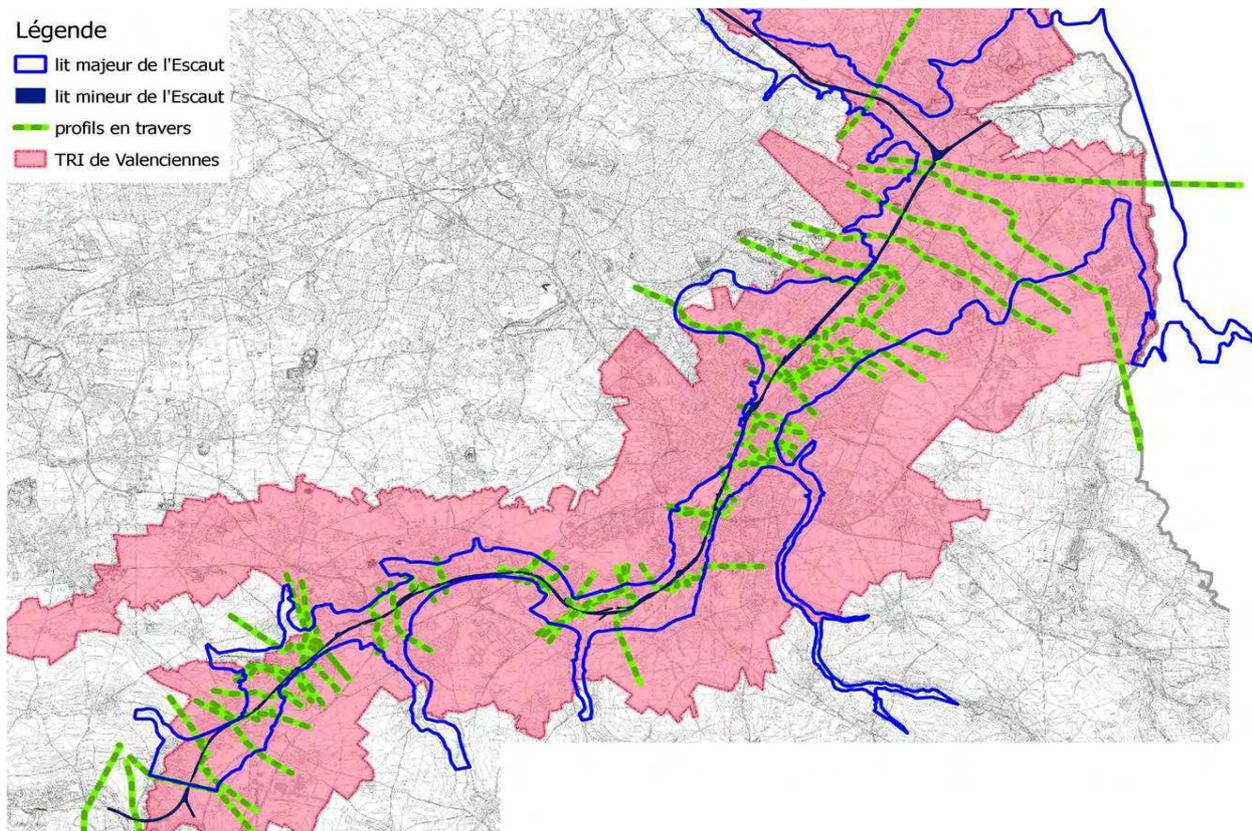


Figure 7 - Profils en travers réalisés en vue du MNSLE du lit majeur de l'Escaut

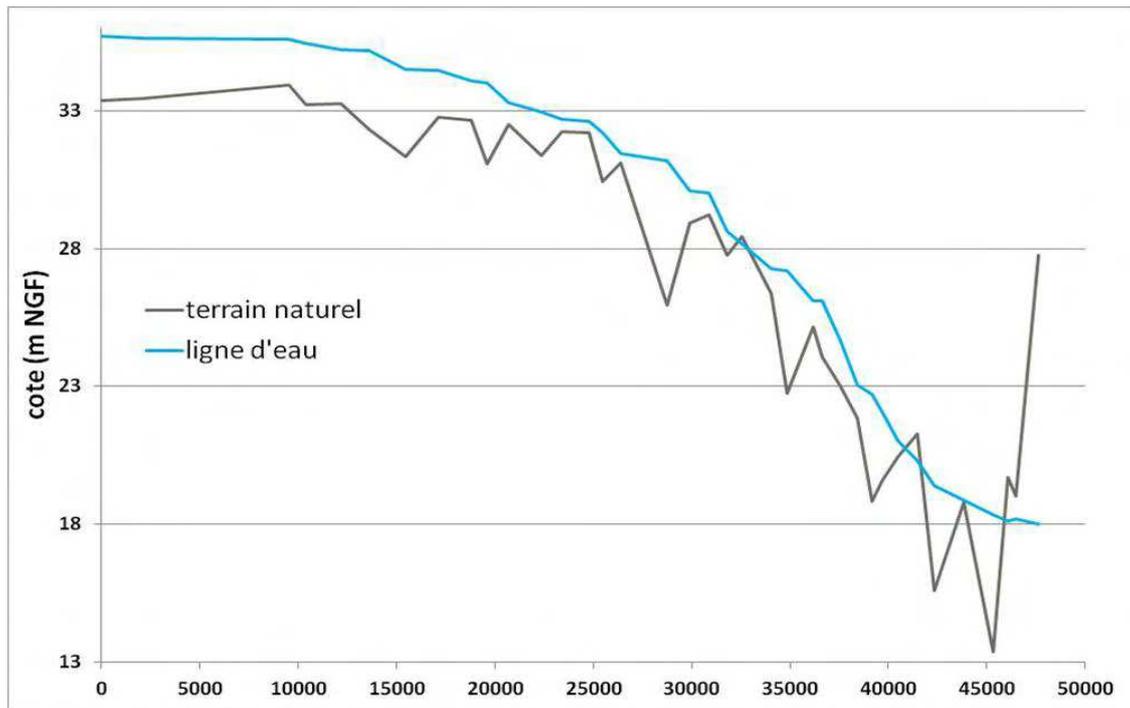


Figure 8 - Profil en long de l'Escaut

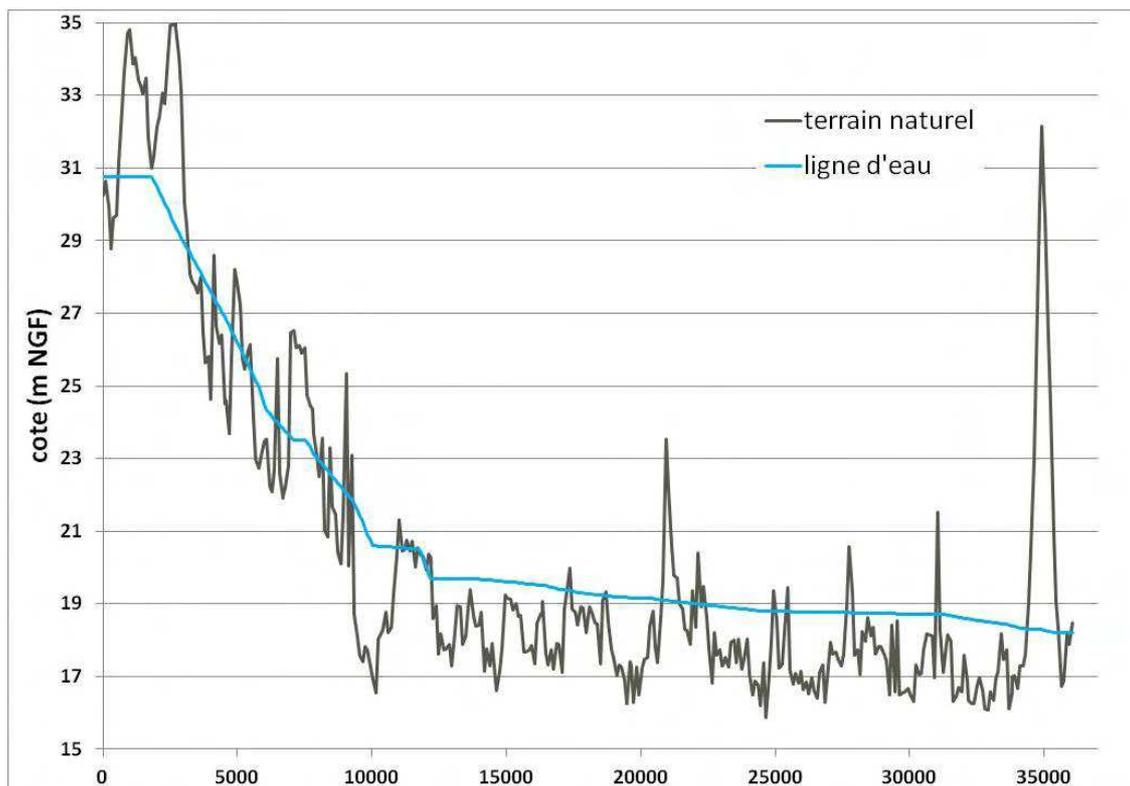


Figure 9 - Profil en long de la Scarpe

Il est à noter que pour certains profils en travers, notamment ceux se situant dans des secteurs à faible déclivité, il est parfois impossible de caler l'emprise de l'inondation (issue de la méthode numérique) sur l'emprise du lit majeur obtenu dans le cadre de la phase n°2. En effet, comme il a été précisé dans le rapport de phase n°2, l'approche hydrogéomorphologique n'est pas adaptée à un contexte anthropisé et à faible déclivité. Aussi, les limites du lit majeur issues de l'analyse couplée de la carte géologique (à l'échelle 1/50 000e) et du relief (MNT) peuvent être erronées ou dans tous les cas être définies avec une incertitude géographique importante.

Ces secteurs sont mis en exergue par l'approche numérique, comme illustré dans la séquence d'images de la figure 10. Dans cette séquence, on constate que quel que soit le pas de temps (de t^* à $t^*+20\Delta t$), la limite droite du lit majeur n'est jamais atteinte par l'inondation, signifiant que cette délimitation est erronée. Il s'agit dans cet exemple d'un secteur de l'Escaut situé à l'amont de la confluence avec le canal de Condé Pommeroeul pour lequel la déclivité est faible.

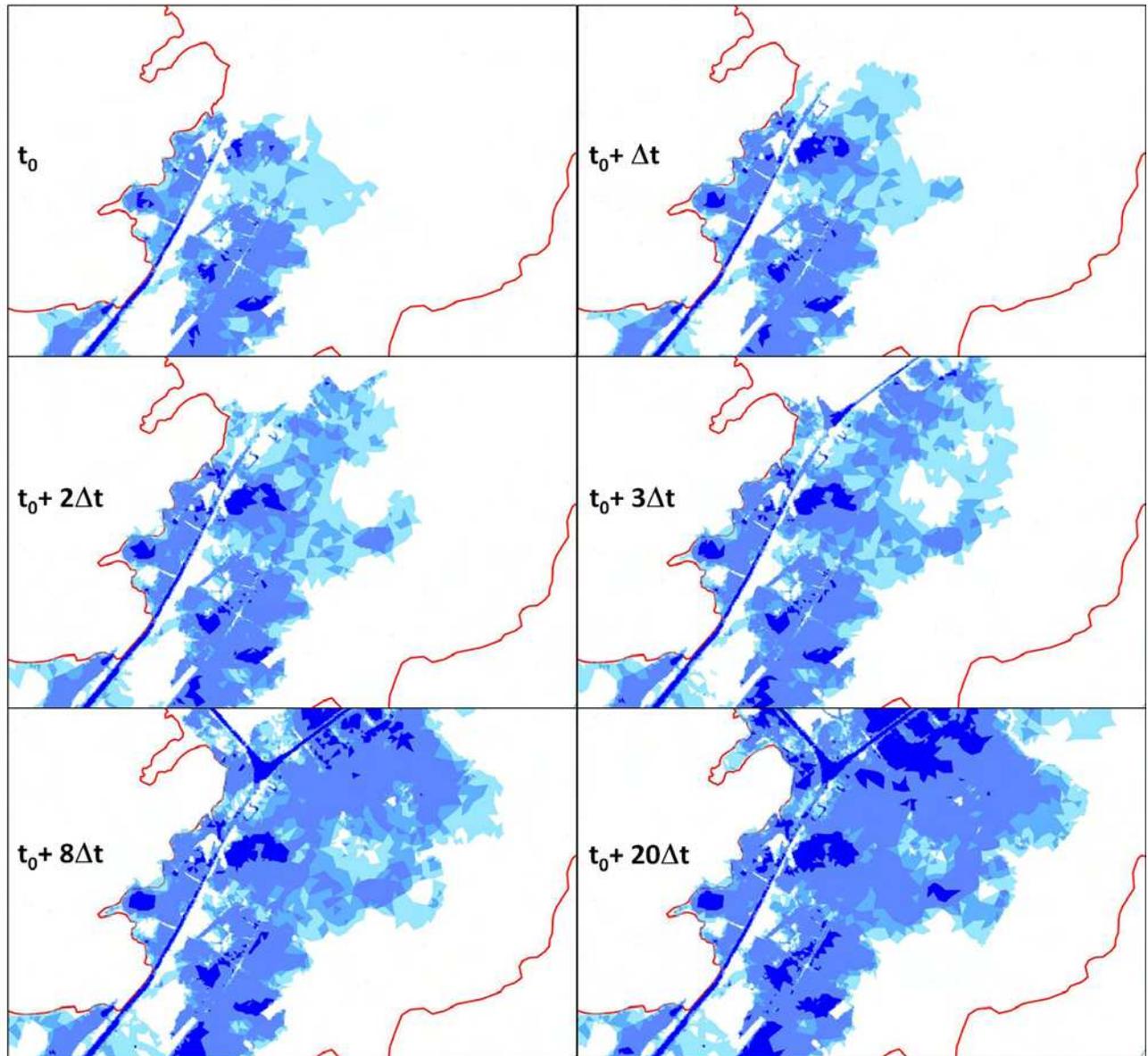


Figure 10 - Évolution de la zone inondée dans un secteur situé à l'amont de la confluence entre l'Escaut et le canal de Condé-Pommeroeul

2.2.4 Création du MNSLE

Une fois qu'une cote d'eau est affectée à chacun des profils en travers, la création du MNSLE est basée sur une interpolation linéaire de ces derniers. Le MNSLE est une grille au format RASTER à mailles carrées (de côté 5 m) dont chacune des mailles contient l'information cote d'élévation de l'eau.

2.3 Croisement MNSLE/MNT

2.3.1 Principe du croisement

Pour obtenir les hauteurs de submersion (différence entre les cotes d'eau et les cotes terrain naturel), il suffit de croiser le MNSLE avec le MNT. Ce croisement n'est autre qu'une simple soustraction des deux fichiers au format RASTER, comme illustré dans la figure 11.

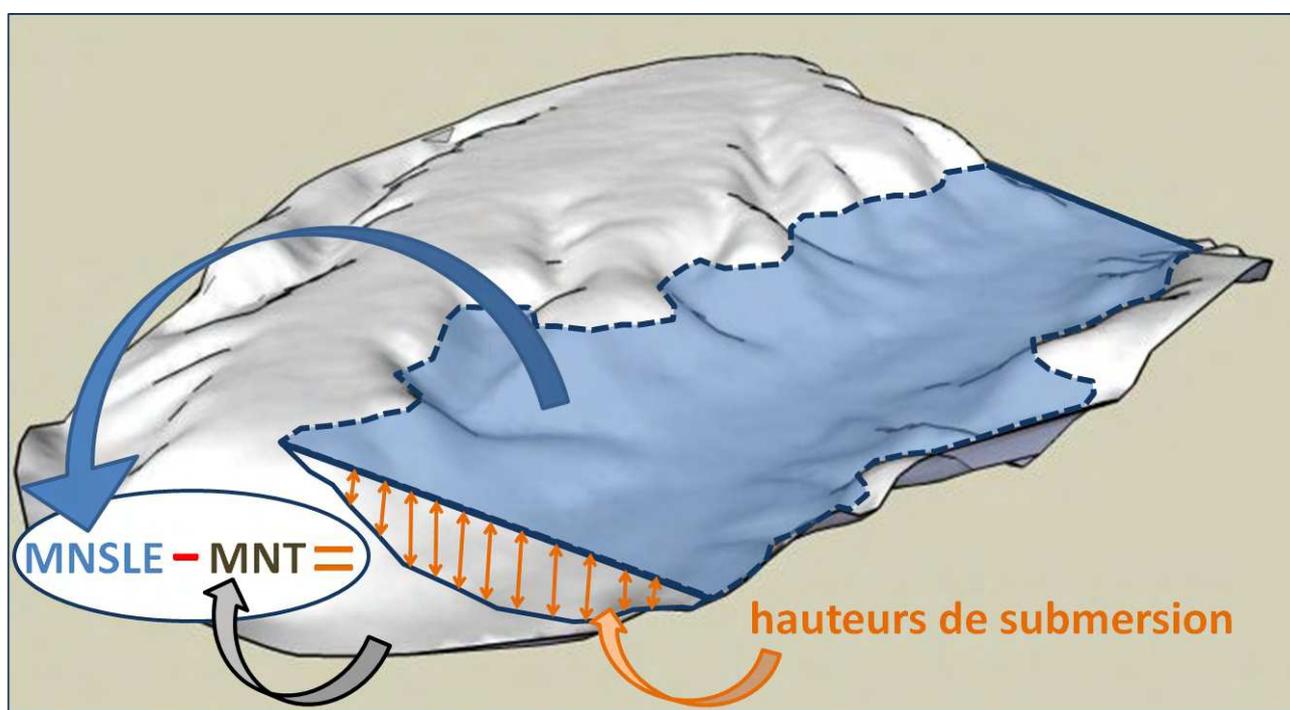


Figure 11 - Schématisation de l'opération croisement MNSLE/MNT

Le résultat obtenu est un fichier au format RASTER dont chaque maille contient désormais la hauteur de submersion.

2.3.2 Résultats du croisement MNSLE/MNT

Les trois figures suivantes illustrent le résultat du croisement du MNSLE et du MNT dans le cas de l'Escaut.

La figure 12 illustre deux cas particuliers (entourés en rouge) pour lesquels des zones inondées se situent en dehors du lit majeur. Un premier secteur concerne une zone en eau totalement déconnectée des zones inondées. Il s'agit ici d'un artefact du croisement MNSLE /MNT, la zone entourée en rouge correspondant à une dépression dont la cote de terrain se situe en-dessous de la cote d'eau affectée au profil en travers de ce

secteur. Ces zones déconnectées du lit majeur et apparaissant comme inondées (zones dépressionnaires) ne seront pas conservées dans la réalisation des cartes de zones inondables des TRI.

Dans le second cas, on observe une zone inondée ne se situant pas dans l'emprise du lit majeur mais restant connectée aux zones inondées voisines. Cette zone correspond à un déblais anthropique qui n'avait pas été pris en compte dans la délimitation du lit majeur de la phase n°2. Ce type de zone inondée sera en revanche conservé dans les cartes de zones inondables des TRI.

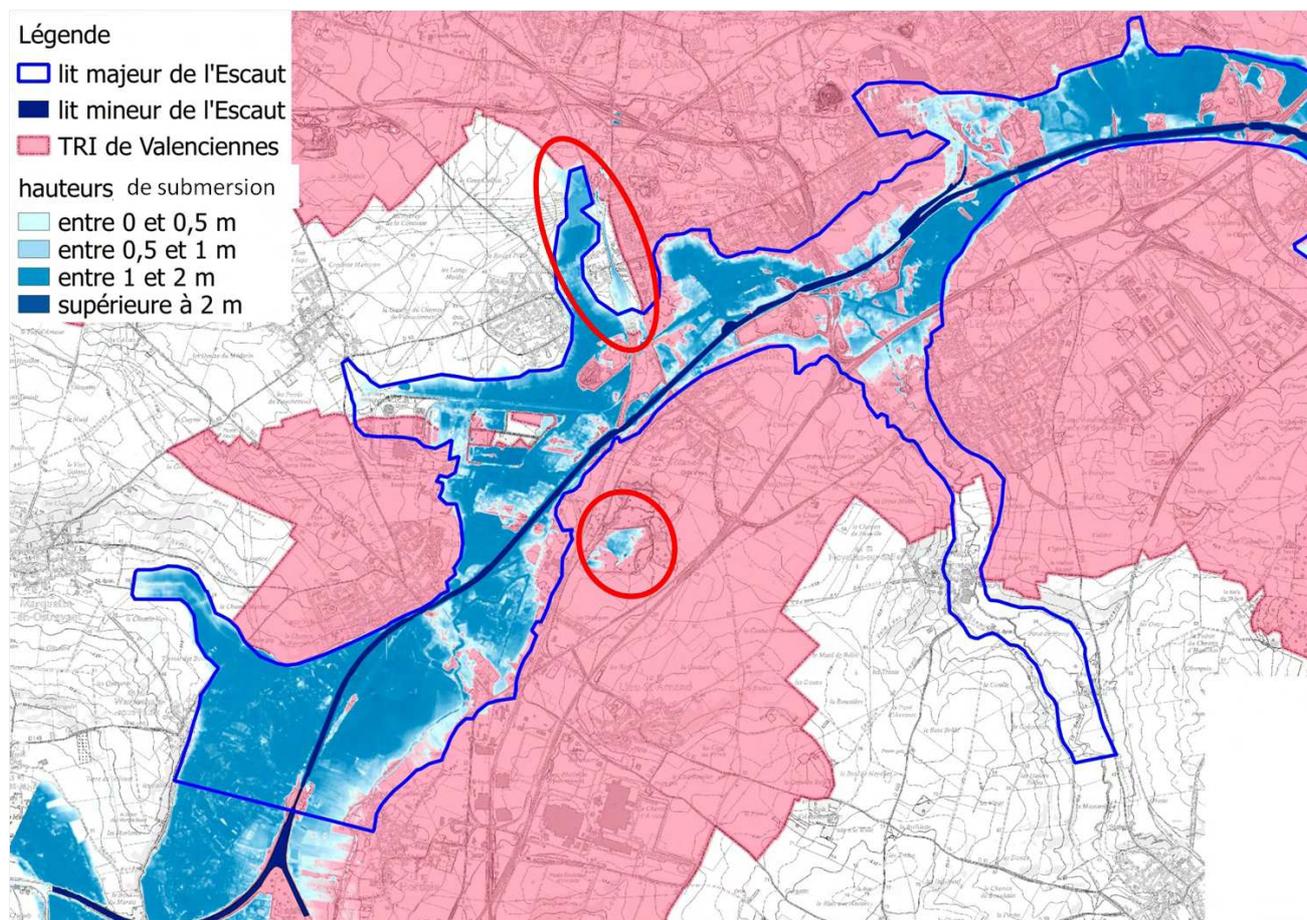


Figure 12 - Hauteurs de submersion dans le secteur amont du TRI de Valenciennes

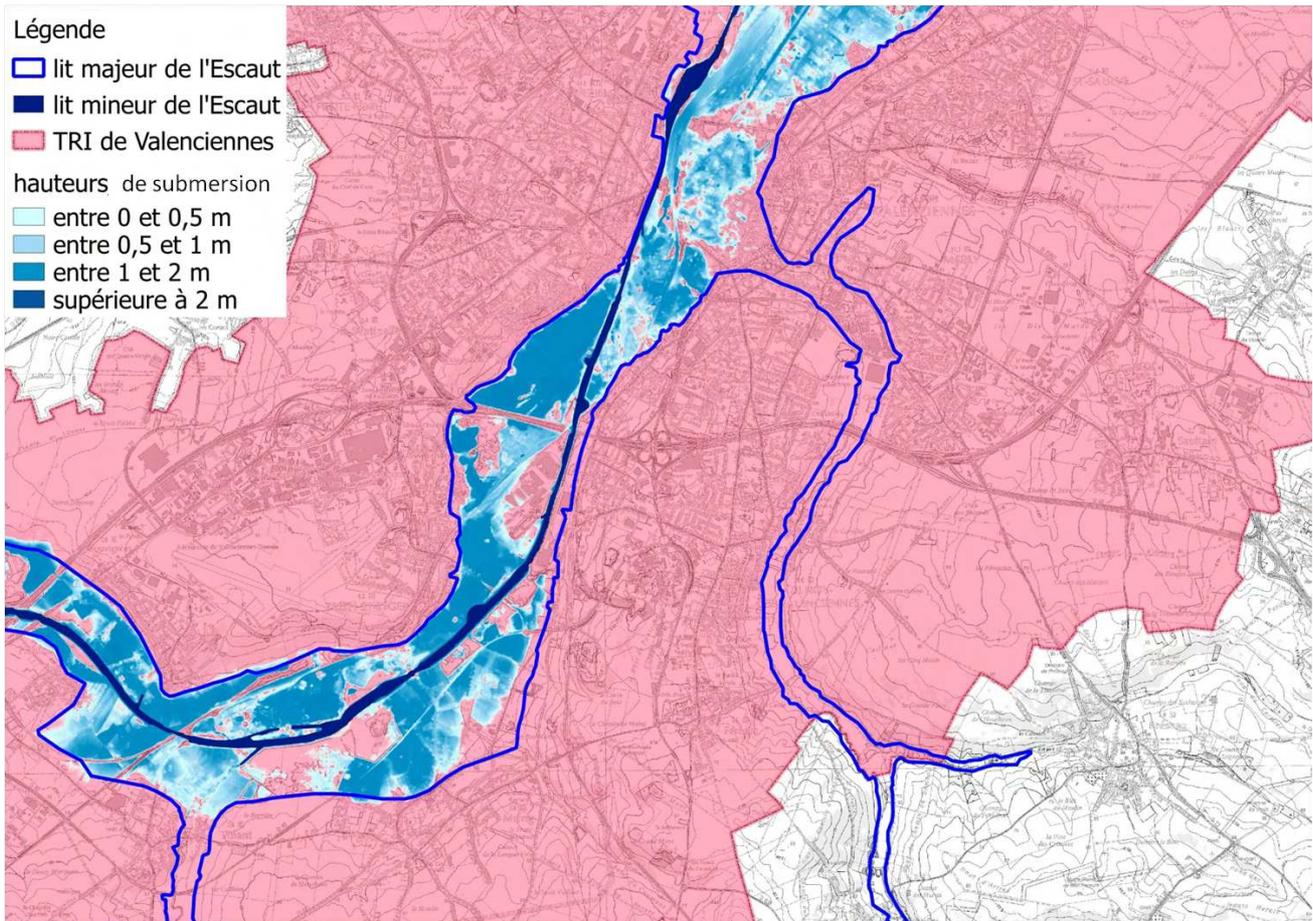


Figure 13- Hauteurs de submersion au niveau des confluences de la Selle et de la Rhônelle

La figure 14 illustre le problème concernant les secteurs pour lesquels la zone inondée n'atteint pas la délimitation du lit majeur proposée dans la Phase n°2. Ce point est détaillé dans la partie 2.2.3.

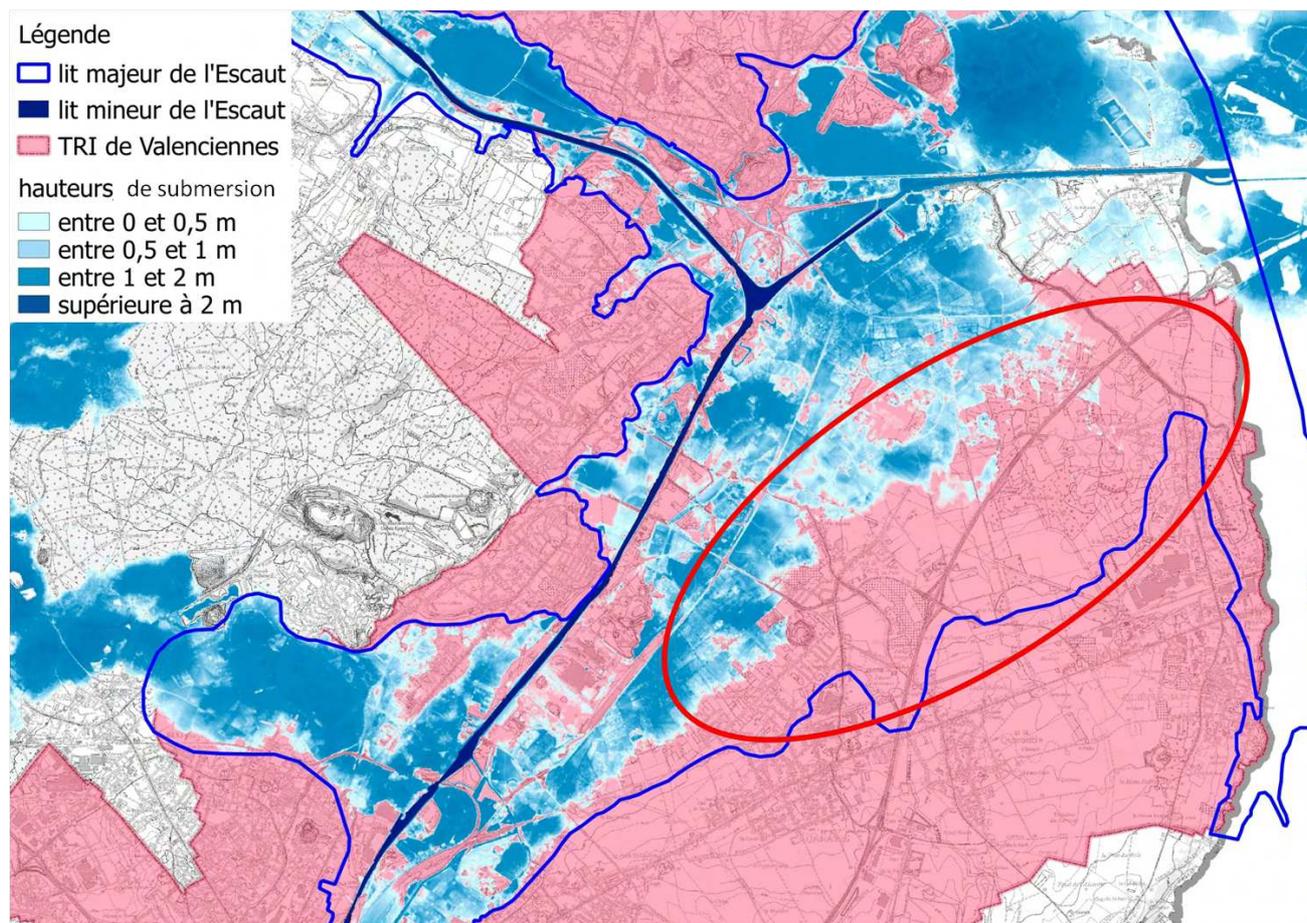


Figure 14 - Hauteurs de submersion au niveau de la confluences du canal de Condé-Pommeroeul

2.4 Les incertitudes

Les incertitudes concernant les hauteurs de submersion sont liées aux incertitudes des cotes affectées aux profils en travers dans l'étape précédant la constitution du MNSLE ainsi qu'à la précision altimétrique du MNT.

La précision altimétrique du MNT utilisé dans le croisement MNSLE/MNT afin d'obtenir la carte des zones inondables est de l'ordre de 20 cm.

Concernant l'incertitude des cotes d'eau affectées aux profils en travers, nous avons vu dans la méthode employée et décrite précédemment que cette dernière est liée au calage de la zone inondée « numérique » sur les limites du lit majeur.

Rappelons ici les limites de l'approche hydrogéomorphologique décrite et employée dans la phase n°2 de la présente étude afin d'obtenir la délimitation du lit majeur de l'Escaut et de la Scarpe aval. Cette approche n'est pas adaptée à un contexte au relief peu marqué et pour lequel des modifications anthropiques du reliefs ont été opérées. Aussi, la position des limites du lit majeur peut être erronée pour certains secteurs, comme nous avons pu le voir précédemment, notamment à l'amont de la confluence entre l'Escaut et le canal de Condé-Pommeroeul.

Cependant, étant donnée la méthode employée pour affecter une cote d'eau aux profils en travers, l'incertitude quant à la position de la limite du lit majeur n'affecte pas la précision de la cote d'eau. En effet, pour chacun des profils en travers, nous avons affecté la cote d'eau du pas de temps pour lequel la zone inondée numérique n'évolue plus latéralement (pour la majorité des secteurs, la zone inondée atteint alors les limites du lit majeur).

L'incertitude sur les cotes d'eau est donc plutôt liée au pas de temps choisi pour caler la zone inondée sur l'emprise du lit majeur. Une analyse de sensibilité de la cote d'eau au pas de temps a été réalisée sur trois secteurs de l'Escaut dont deux sont illustrés dans les séquences d'images des figures 6 et 10.

Les secteurs analysés sont :

- secteur 1 : secteur situé à l'amont de la confluence avec la Rhônelle illustré dans la figure 6 ;
- secteur 2 : secteur situé à l'amont de la confluence avec le canal de Condé-Pommeroeul illustré dans la figure 10;
- secteur 3 : secteur situé à l'amont de la confluence avec la Selle (secteur encaissé).

Les cotes d'eau pour différents pas de temps successifs relevés au niveau des profils en travers de chacun des secteurs sont donnés dans le tableau suivants. Les cotes retenues et affectées aux profils en travers en vue de la création du MNSLE sont surlignées en bleu dans le tableau. Notons que pour chacun des secteurs, le temps t^* est différent et sa valeur importe peu ici.

temps	cote d'eau (m NGF)		
	secteur 1	secteur 2	secteur 3
t^*		18.8	29.1
$t^*+\Delta t$	25.9	18.9	29.6
$t^*+2\Delta t$	26.3	19	29.9
$t^*+3\Delta t$	26.5	19.02	30.09
$t^*+4\Delta t$	26.6	19.07	30.2
$t^*+5\Delta t$	26.7		

Tableau 2.1 - Variations de la cote d'eau en fonction du pas de temps considéré pour 3 secteurs de l'Escaut

En considérant la part subjective dans le choix du pas de temps, nous estimons l'erreur sur le pas de temps choisi à $\pm\Delta t$, ce qui implique une variation de cote d'eau maximale Δz de l'ordre de 0,3 m dans les secteurs analysés (variation maximale correspondant au secteur 3 entre $t^*+\Delta t$ et $t^*+2\Delta t$). Cette variation est de 0,1 m pour le secteur 2 et de 0,2 m pour le secteur 1.

3: Mise en œuvre de la méthode pour les TRI de Douai et de Valenciennes

Les cartes des zones inondables sont fournies au format pdf et jointes au rapport.

Pour le TRI de Douai :

- Douai_1_V0.pdf ;
- Douai_2_V0.pdf.

Pour le TRI de Valenciennes :

- Valenciennes_1_V0.pdf ;
- Valenciennes_2_V0.pdf.