

CARTOGRAPHIE DYNAMIQUE DU RISQUE D'INONDATIONS EN MILIEU URBAIN

Rapport de recherche R1428

Septembre 2012

CARTOGRAPHIE DYNAMIQUE DU RISQUE D'INONDATIONS EN MILIEU URBAIN

par

Jimmy Poulin
Karem Chokmani
Marion Tanguy
Monique Bernier

Institut National de la Recherche Scientifique
Centre Eau Terre Environnement
Québec (Québec), Canada
G1K 9A9

Rapport de recherche R1428

Septembre 2012

ISBN : 978-2-89146-777-3

AVANT-PROPOS

Le travail présenté dans ce rapport de recherche se situe dans le cadre d'un projet mené conjointement entre juillet 2011 et janvier 2012 par l'INRS-ETE et Info/TSE (firme privée spécialisée en technologie de l'information et en sciences de l'environnement) et dont l'objectif est de développer une méthodologie opérationnelle de cartographie dynamique des risques d'inondation en zones urbaines.

Ce projet fait partie intégrante des recherches menées par Marion Tanguy dans le cadre de ses études de doctorat en sciences de l'eau à l'INRS-ETE, sous la direction de Monique Bernier et de Karem Chokmani.

La première partie de ce rapport est consacré à la méthodologie proposée pour la cartographie dynamique de l'aléa inondation. La seconde partie porte sur la cartographie des indicateurs de vulnérabilité présentés dans (Tanguy et al. 2012). Chacune des parties est structurée de façon similaire à savoir une présentation de quelques notions théoriques ou de mise en contexte, une présentation des données utilisées, les prétraitements effectués sur les données avant leur utilisation et finalement l'implémentation de la méthodologie.

Les outils présentés dans ce rapport ont été développés dans le but de démontrer une preuve de concept. Ils ne sont bâti afin de gérer toutes les situations possibles et ne sont pas exempt de bogues. Ils fonctionnent correctement avec les données remises pour démonstration, lesquelles n'ont pas été modifiées autrement que par les traitements décrits dans ce rapport. Il est aussi pertinent de mentionner que la version anglaise du logiciel ArcGIS v.10 a été utilisée dans ce projet. Ainsi, les outils ou fonctionnalités utilisés et présentés dans ce rapport sont nommés par leur appellation anglophone.

Les auteurs tiennent à remercier le CRSNG, la Ville de Québec, le Centre d'expertise hydrique du Québec ainsi que le la Ministère de la Sécurité Publique du Québec pour leur support technique ou financier reçu au cours de ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	III
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	IX
1 INTRODUCTION	1
2 CARTOGRAPHIE DYNAMIQUE DE L'ALÉA	5
2.1 Cadre théorique	5
2.2 Données utilisées	6
2.3 Pré traitements effectués	7
2.3.1 Ville de Québec	7
2.3.2 Centre d'Expertise Hydrique du Québec.....	7
2.4 Réalisation.....	8
2.4.1 Mode pré-opérationnel.....	9
2.4.2 Mode opérationnel	12
3 CARTOGRAPHIE DU RISQUE	15
3.1 Notions théoriques sur la vulnérabilité.....	15
3.1.1 Vulnérabilité structurelle.....	15
3.1.2 Vulnérabilité des infrastructures essentielles.....	15
3.1.3 Vulnérabilité indirecte.....	16
3.1.4 Vulnérabilité intrinsèque.....	17
3.2 Données utilisées	17
3.3 Pré traitements effectués	17
3.3.1 Ville de Québec	17
3.3.2 Statistique Canada.....	19
3.4 Réalisation.....	22
4 CONCLUSION	29
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE	31
ANNEXE 1 OUTILS DÉVELOPPÉS UTILISABLES À PARTIR D'ARCGIS	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Source et nature des données utilisées pour la cartographie de l'aléa	6
Tableau 2	Définition théorique des hauteurs de submersion (en cm) pour chaque niveau de vulnérabilité structurelle, par type de bâtiment (Tanguy et al. 2012).	15
Tableau 3	Exemple de seuils de défaillance et de non fonctionnalité pour différentes infrastructures essentielles.....	16
Tableau 4	Source et nature des données utilisées pour la cartographie de la vulnérabilité en fonction de l'aléa.....	17
Tableau 5	Distinction des niveaux de vulnérabilité établis pour chaque indicateur de vulnérabilité, selon la proportion de l'échantillon de population (adapté de (Tanguy et al. 2012))......	20
Tableau 6	Pondération des indicateurs de vulnérabilité intrinsèque utilisée pour la preuve de concept.	21
Tableau 7	Exemple de calcul de vulnérabilité intrinsèque pour une AD	21
Tableau 8	Classification finale du niveau de vulnérabilité intrinsèque des AD.....	21
Tableau 9	Description des paramètres de l'outil <i>Convertir plaine en 3D</i>	34
Tableau 10	Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Convertir plaine en 3D</i>	34
Tableau 11	Description des paramètres de l'outil <i>Validation des plaines 3D</i>	35
Tableau 12	Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Validation des plaines 3D</i>	35
Tableau 13	Description des paramètres de l'outil <i>Créer Profil en Long</i>	36
Tableau 14	Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Créer Profil en Long</i>	36
Tableau 15	Description des paramètres de l'outil <i>Transfert des cotes vers les sections</i>	37
Tableau 16	Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Transfert des cotes vers les sections</i>	37
Tableau 17	Description des paramètres de l'outil <i>Transfert des sections vers la ligne centrale</i>	38
Tableau 18	Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Transfert des sections vers la ligne centrale</i>	38
Tableau 19	Description des paramètres de l'outil <i>Créer Cotes avec fichier texte</i>	39
Tableau 20	Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Créer Cotes avec fichier texte</i>	39
Tableau 21	Description des paramètres de l'outil <i>Validation des plaines 3D</i>	40
Tableau 22	Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Validation des plaines 3D</i>	40

Tableau 23	Description des paramètres de l'outil <i>Calcul du chainage</i>	41
Tableau 24	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Calcul du chainage</i>	41
Tableau 25	Description des paramètres de l'outil <i>Création de la surface d'eau</i>	43
Tableau 26	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Création de la surface d'eau</i>	43
Tableau 27	Description des paramètres de l'outil <i>Création de la surface d'eau (2)</i>	44
Tableau 28	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Création de la surface d'eau (2)</i>	44
Tableau 29	Description des paramètres de l'outil <i>Calcul des paramètres</i>	45
Tableau 30	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Calcul des paramètres</i>	46
Tableau 31	Description des paramètres de l'outil <i>Création de la plaine Inondable</i>	48
Tableau 32	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Création de la plaine Inondable</i>	48
Tableau 33	Description des paramètres de l'outil <i>Création de la plaine Inondable (2)</i>	50
Tableau 34	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Création de la plaine Inondable (2)</i>	50
Tableau 35	Description des paramètres de l'outil <i>Vulnérabilité directe</i>	51
Tableau 36	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Vulnérabilité directe</i>	52
Tableau 37	Description des paramètres de l'outil <i>Vulnérabilité complète partie 1</i>	53
Tableau 38	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Vulnérabilité complète partie 1</i>	54
Tableau 39	Description des paramètres de l'outil <i>Vulnérabilité complète partie 1</i>	55
Tableau 40	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Vulnérabilité complète partie 3</i>	56
Tableau 41	Description des paramètres de l'outil <i>Plaine inondable et vulnérabilité</i>	58
Tableau 42	Outils d’ArcGIS utilisés dans l'outil <i>Plaine inondable et vulnérabilité</i>	59

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Signification de la symbologie utilisée dans la schématisation de la méthodologie proposée.....	9
Figure 2	Données et étapes de traitements du mode pré opérationnel.....	10
Figure 3	Méthode de détermination des paramètres de la fonction de régression pour l'ensemble du domaine.....	12
Figure 4	Les étendues d'eau qui apparaissent submergées mais qui ne sont pas connectées au lit principal sont ignorées (gauche). Elles seront considérées lorsque le niveau de l'eau augmentera et qu'il apparaîtra une connexion avec le lit principal (droite).....	13
Figure 5	Données et étapes de traitement du mode opérationnel	13
Figure 6	Exemple de plaine inondable et de profondeur de submersion pour un débit de 83 m ³ /s sur un tronçon de la rivière Saint-Charles, Québec.	14
Figure 7	Données et étapes d'évaluation de la vulnérabilité.....	23
Figure 8	Affichage des fichiers de sortie dans ArcGIS.....	26
Figure 9	Exemple d'attributs ajoutés à la table des bâtiments après l'évaluation de la vulnérabilité.....	26
Figure 10	Exemple d'attributs ajoutés à la table du réseau routier après l'évaluation de la vulnérabilité.....	27
Figure 11	Données et étapes de la cartographie de la plaine inondable et de l'évaluation de la vulnérabilité.....	28
Figure 12	Boîte de dialogue de l'outil <i>Convertir plaines en 3D</i>	34
Figure 13	Boîte de dialogue de l'outil <i>Validation des plaines 3D</i>	35
Figure 14	Boîte de dialogue de l'outil <i>Créer Profil en Long</i>	36
Figure 15	Boîte de dialogue de l'outil <i>Transfert des cotes vers les sections</i>	37
Figure 16	Boîte de dialogue de l'outil <i>Transfert des sections vers la ligne centrale</i>	38
Figure 17	Boîte de dialogue de l'outil <i>Créer Cotes avec fichier texte</i>	39
Figure 18	Boîte de dialogue de l'outil <i>Validation des plaines 3D</i>	40
Figure 19	Boîte de dialogue de l'outil <i>Calcul du chainage</i>	41
Figure 20	Boîte de dialogue de l'outil <i>Création de la surface d'eau</i>	42
Figure 21	Boîte de dialogue de l'outil <i>Création de la surface d'eau (2)</i>	44
Figure 22	Boîte de dialogue de l'outil <i>Calcul des paramètres</i>	45
Figure 23	Boîte de dialogue de l'outil <i>Création de la plaine Inondable</i>	47
Figure 24	Boîte de dialogue de l'outil <i>Création de la plaine Inondable (2)</i>	49

Figure 25	Boîte de dialogue de l'outil <i>Vulnérabilité directe</i>	51
Figure 26	Boîte de dialogue de l'outil <i>Vulnérabilité complète partie 1</i>	53
Figure 27	Boîte de dialogue de l'outil <i>Vulnérabilité complète partie 3</i>	55
Figure 28	Boîte de dialogue de l'outil <i>Plaine inondable et vulnérabilité</i>	57

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de son partenariat avec Info/TSE, l'INRS-ETE a eu le mandat de développer une méthodologie de cartographie des risques d'inondation en zones urbaines. La méthodologie pourrait à terme être intégrée dans un système de répartition assisté par ordinateur (RAO) pour l'intervention en situation d'urgence en lien avec les inondations. En effet, actuellement aucun service n'est adapté ou offert spécifiquement pour des interventions dans les cas où une inondation est imminente ou en cours. Dans de telles situations, les intervenants sont souvent désorganisés. Ils doivent composer avec l'incertitude face à l'emplacement et la nature des sites les plus vulnérables à l'intérieur des zones touchées ou prochainement touchées par ce type de désastre. Par ailleurs, dans un contexte de changement climatique, la recrudescence des événements hydrologiques extrêmes vient exacerber cette situation (Ares 2008; Adikari et al. 2010; Oh et al. 2010).

Le développement d'un tel système de RAO viendra combler un besoin criant en termes d'évaluation et de gestion des risques d'inondation en zones urbaines. Ceci permettra d'optimiser le processus de planification et d'implantation des mesures d'urgence visant à réduire les impacts des inondations sur les vies humaines et les infrastructures essentielles. Dans ce processus, l'analyse de risque constitue l'étape primordiale. Le terme « risque » exprime ainsi l'espérance mathématique de pertes en vies humaines, de problèmes de santé ou de dommages directs aux biens et d'atteinte à l'environnement ou à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée, résultant de l'exposition des éléments vulnérables à un aléa particulier. Le terme « aléa » qualifie l'occurrence dans une région et au cours d'une période donnée, d'un phénomène, en l'occurrence ici l'inondation, pouvant engendrer des dommages. La « vulnérabilité » exprime quant à elle la susceptibilité des « éléments à risque/vulnérables » (personnes et biens) à subir des dommages résultant de l'exposition à une inondation d'une magnitude donnée (Plate 2002; Leclerc et al. 2006). Étant donné que le risque est la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité, l'analyse du risque passe nécessairement par la caractérisation de l'aléa, l'identification des éléments vulnérables présents sur le territoire et l'évaluation de la vulnérabilité de ces éléments face à l'aléa en question (exposition).

Une analyse de risque efficace se doit d'aboutir à la production de cartes de risques qui permettent de rapidement déterminer les parties les plus vulnérables et exposées à l'intérieur des zones inondées et adapter les mesures d'intervention en conséquence (Plate 2002). Or, les méthodes actuelles d'analyse des risques des inondations se limitent pour la plupart à cartographier l'aléa lui-même (Blin et al. 2005; Papathoma-Köhle et al. 2010), c.-à-d. représenter les zones inondables résultant de certains événements jugés problématiques. Par ailleurs, les travaux d'évaluation de la vulnérabilité face aux inondations ont pour la plupart opté pour des fonctions reliant les dommages matériels potentiels que pourraient subir les bâtiments à la profondeur de submersion de l'inondation (Leclerc et al. 2003; Merz et al. 2010; Papathoma-Köhle et al. 2010). De plus, la majorité de ces travaux ont été conduits à l'échelle régionale ou zonale. Ainsi, les résultats de tels travaux s'adressent plutôt aux gestionnaires du territoire (aménagement, protection) et aux assureurs (assurabilité et indemnisation) et ne sont pas adaptés aux situations d'urgence (intervention) (Leclerc et al. 2003; Fekete et al. 2009). Dans ces situations, l'évaluation de la vulnérabilité doit porter en premier lieu sur les risques pour les vies humaines et les infrastructures essentielles (Adelekan 2010; Oh et al. 2010).

L'objectif de la présente proposition est de développer une méthodologie opérationnelle pour la cartographie dynamique des risques d'inondation en zones urbaines. Afin de tester cette méthodologie, un prototype sera développé sur deux tronçons de rivières de la banlieue Nord de la Ville de Québec, à savoir la rivière Montmorency et la rivière Saint-Charles. Deux sites exposés aux inondations, présentant des caractéristiques diversifiées de l'occupation du territoire (zones résidentielles, sites industrielles, équipements publics, etc.) et pour lesquels nous disposons des données de base à référence spatiale, hydrauliques et hydrologiques nécessaires pour l'implantation d'un tel prototype. Il est à noter que le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) exploite un système opérationnel de prévision du niveau et du débit de certains cours d'eau du Québec méridional, dont les deux sites de l'étude (CEHQ 2010). Les prévisions sont effectuées principalement pour la gestion des barrages publics, et occasionnellement pour des clients externes comme la Ville de Québec.

Le développement de la méthodologie implique :

- 1) le développement d'une méthodologie de cartographie dynamique de l'aléa, en l'occurrence la hauteur de submersion du terrain ainsi que les limites des zones inondées correspondant à un éventail de débits de crue problématiques sur le cours d'eau;
- 2) le développement d'indicateurs de vulnérabilité adaptés au contexte de gestion des situations d'urgence;
- 3) le développement d'une méthodologie de cartographie dynamique du risque en fonction de l'évolution de l'aléa.

Ce rapport de recherche se concentre sur les objectifs 1 et 3, soit les aspects de cartographie dynamique de l'aléa et du risque en rapport à l'évolution de l'aléa et les vulnérabilités présentes. Chacun de ces deux aspects formera un chapitre de ce rapport. Pour les aspects relatifs à l'objectif 2 ainsi qu'une définition des notions centrales de l'étude, à savoir le risque, l'aléa et la vulnérabilité, le lecteur est invité à consulter (Tanguy et al. 2012).

2 CARTOGRAPHIE DYNAMIQUE DE L'ALÉA

La caractérisation de l'aléa d'inondation devrait idéalement traiter le phénomène dans toute sa globalité, à savoir la profondeur de submersion, la vitesse de l'écoulement, la charge en sédiments et la durée de submersion (Buchele et al. 2006). Toutefois, l'accès à une telle masse de données demeure pour le moment très limité. Dans le cadre de la présente étude, le développement du prototype et la preuve de concept se limitera par conséquent à la hauteur de submersion du terrain.

L'objectif est de déterminer, pour un débit donné, le niveau de la surface d'eau associée et subséquent de dériver l'étendue de la plaine inondable et la profondeur de submersion en tous points de la zone inondée en utilisant le modèle numérique de terrain.

Pour ce faire, une relation débit-niveau (courbe de tarage) permettant de traduire les débits instantanés en niveau d'eau sera définie. Cette courbe sera calculée en tous points du domaine à partir des cotes de récurrences officielles disponibles (0, 2, 20 et 100 ans) et leurs débits correspondants établis dans le cadre du programmes de cartographie des zones inondables et du programme de détermination des cotes de crues (PDCC) (Direction de la cartographie topographique 2008; CEHQ 2010). Des cotes obtenues directement sur le terrain suite à des inondations peuvent également être utilisées dans la détermination de la relation débit-niveau si le débit associé est connu.

2.1 Cadre théorique

Le débit de l'eau est généralement obtenu par la connaissance du niveau de l'eau et d'une relation débit-niveau communément appelée courbe de tarage. À l'inverse, une fois la courbe de tarage établie, il est possible de déterminer le niveau de l'eau à partir du débit. Pour une station, la courbe de tarage est établie en mesurant le débit de la rivière pour différentes hauteurs d'eau (jaugeage). Pour être opérationnelle, elle nécessite un grand nombre de mesures dans toutes les gammes de débits possibles du cours d'eau. Cette courbe de tarage est spécifique au point de jaugeage car elle dépend directement de l'environnement physique et des conditions en amont et en aval.

Dans le cadre du projet, pour obtenir le niveau de l'eau pour un débit donné, nous devons définir des courbes de tarages en tous points. Pour réaliser ces courbes, il est nécessaire de connaître en premier lieu le niveau de l'eau pour plusieurs débits pour tous ces points du domaine d'étude. Il est possible d'estimer cette information à partir de données existantes, comme les cartes des zones inondables du CEHQ. Ces cartes nous renseignent sur la limite de la zone inondée pour un débit d'une récurrence donnée, généralement 2 ans, 20 ans et 100 ans. L'élévation de l'eau à la périphérie de la zone inondée peut être obtenue en regardant l'endroit où la limite rejoint le terrain, représenté par un modèle numérique de terrain. Les cartes des zones inondables contiennent également, pour les mêmes débits, l'élévation de l'eau au centre de la rivière sous forme de points cotés. Ces deux jeux de données peuvent servir de base pour extrapoler une surface sur l'ensemble du domaine, laquelle nous donnera en tous points le niveau de l'eau pour le débit en question. En théorie, comme nous l'avons laissé sous-entendre auparavant, le débit est différent en tous points. La surface générée correspondrait donc à une multitude de débits, la majorité étant inconnues. Le rapport accompagnant les cartes de zones inondables peut nous renseigner sur les débits à la position des points cotés mais pas pour ceux ailleurs dans le domaine. La méthode utilisée pour pallier à ce problème sera décrite à la partie *Réalisation*.

2.2 Données utilisées

Dans le cadre de cette preuve de concept, nous avons utilisé des données en provenance de la Ville de Québec (VdeQ) et du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) (Tableau 1).

Tableau 1 Source et nature des données utilisées pour la cartographie de l'aléa

Ville de Québec	Modèle numérique de terrain Réseau hydrographique
CEHQ	Limites des plaines inondables Données d'élévation Rapport de cartographie des zones inondables

2.3 Pré traitements effectués

Afin de rendre les données conformes à nos besoins et exploitables dans le cadre du projet, divers pré traitements ont dû être effectués.

2.3.1 Ville de Québec

Modèle numérique de terrain : Le MNT de la ville de Québec est formé de points cotés et de lignes de ruptures de pente. Afin d'être utilisé dans le cadre du projet, nous avons converti ces données sous forme matricielle. Nous avons utilisé l'outil *Topo to Raster* d'ArcGIS pour réaliser l'interpolation. L'outil repose sur le programme ANUDEM développé par Michael Hutchinson (Hutchinson 1988; Hutchinson 1989) et consiste en une technique de spline d'une plaque fine discrétisée (Wahba 1990) pour laquelle la pénalité de rugosité a été modifiée afin de permettre au MNT de suivre les variations brusques du terrain, comme des cours d'eau et des crêtes (ESRI 2011).

Réseau hydrographique : Parmi les données du réseau hydrographique, nous avons extrait les polygones représentant les réseaux des rivières St-Charles et Montmorency puis nous avons éliminé les affluents pour ne conserver que la rivière principale. À partir du polygone de chaque rivière, nous avons généré la ligne centrale de la rivière en utilisant les outils développés dans le cadre du projet FRAZIL (Gauthier et al. 2008). Cette ligne centrale est utilisée afin de transposer un profil en long bidimensionnel sur le lit de la rivière.

2.3.2 Centre d'Expertise Hydrique du Québec

Les données du CEHQ pour les tronçons de rivière utilisés sont distribuées sous format CAD (MicroStation, AutoCAD) et correspondent davantage à des dessins numériques qu'à une cartographie structurée. De multiples traitements ont été nécessaires. Tout d'abord, une translation de 4000000m vers le nord ainsi qu'un changement de datum (nad27 vers nad83) ont été réalisés afin d'amener les données du CEHQ dans le même système que celles de la ville de Québec. Néanmoins, les données du CEHQ, malgré la translation et le changement de datum, ne se superposaient pas avec celles de la Ville (comparaison effectuée avec les couches de bâtiments). Une translation manuelle (quelques mètres) a été effectuée afin de faire correspondre davantage les deux jeux de données. Une fois les données dans le même système, nous avons dû structurer les données du CEHQ.

Limites des plaines inondables : Les limites sont présentées dans le dessin sous forme de lignes discontinues. De plus, lorsque les limites des plaines de différentes récurrences se superposent, seule la limite la plus importante (récurrence plus faible) est dessinée. Il a donc été nécessaire de recréer les limites manquantes et ensuite de regrouper les limites d'une même plaine pour en faire des polygones. Les limites des plaines inondables correspondent aux limites pour un évènement de récurrence donné, lequel correspond à une suite de débits croissant entre l'amont et l'aval. Lorsque converti en polygone, nous considérons la plaine comme un tout et lui assignons le débit mesuré en aval, soit celui mesuré à une station du CEHQ.

Hypsométrie : Les données d'élévation sont représentées par des points cotés et des courbes de niveau. Les points ne possèdent pas d'élévation proprement dit, seulement une étiquette, sur une autre couche, montrant la valeur. Le point d'attache de l'étiquette ayant la même position que le point coté, nous avons converti les étiquettes en points afin recréer les points cotés. Les courbes de niveau ne possèdent pas non plus d'élévation. La valeur de chacune des courbes est représentée par une étiquette placée dans une discontinuité de la courbe. Les courbes sont également discontinues et représentées par plusieurs bouts de ligne entre deux étiquettes. Afin de pouvoir utiliser les courbes de niveau, nous avons dû assigner manuellement une élévation à chacun des bouts de courbe de niveau. Une fois ce travail fastidieux réalisé, nous avons utilisé les points cotés et les courbes de niveau pour générer un modèle numérique de terrain en format matriciel. L'outil *Topo to Raster* d'ArcGIS a de nouveau été utilisé pour l'interpolation.

Rapport de cartographie des zones inondables : À partir des rapports en version numérique, nous avons extrait les niveaux d'eau à différents chaînages (profils en long) et pour plusieurs débits que nous avons recopiés dans un fichier texte.

2.4 Réalisation

La méthode proposée se divise en deux parties : le mode pré-opérationnel et le mode opérationnel. La première sert à déterminer les paramètres de la fonction débit-niveau (courbe de tarage) en tout point de la région à l'étude. La seconde permet d'utiliser ces paramètres afin de déterminer la profondeur de submersion en tout point pour un débit donné. L'implémentation de la méthodologie s'est effectué en utilisant les outils présents dans ArcGIS v10.0 et des outils personnalisés développés dans le langage de

programmation Python. Les outils personnalisés sont appelés à partir d’ArcGIS au moyen de boîte de dialogue standard commune au logiciel. La typologie des structures de données utilisées est également cohérente avec les principes d’ArcGIS (Figure 1).

2.4.1 Mode pré-opérationnel

Le mode pré-opérationnel est composé d’un nombre variable d’étapes ou de traitements dépendamment des données utilisées comme intrants (Figure 2). Les intrants souhaités correspondent à des positions 3D représentant le niveau de l’eau en un point donné pour un débit donné. Ces positions se retrouvent généralement sous deux formes, soit des limites de plaines inondables en 3D ou des profils en long 3D (représentés sur la ligne centrale). La première forme nous donne, pour un débit donné, l’élévation de l’eau à l’endroit où celui-ci atteint son niveau le plus haut sur le terrain tandis que la deuxième forme nous renseigne sur l’élévation de l’eau au centre de la rivière.

	Données		Matriciel
	Outils		Points
	Mode pré-opérationnel		Polyligne
	Mode opérationnel		Polygone
			Base de données
			Fichier texte

Figure 1 Signification de la symbologie utilisée dans la schématisation de la méthodologie proposée.

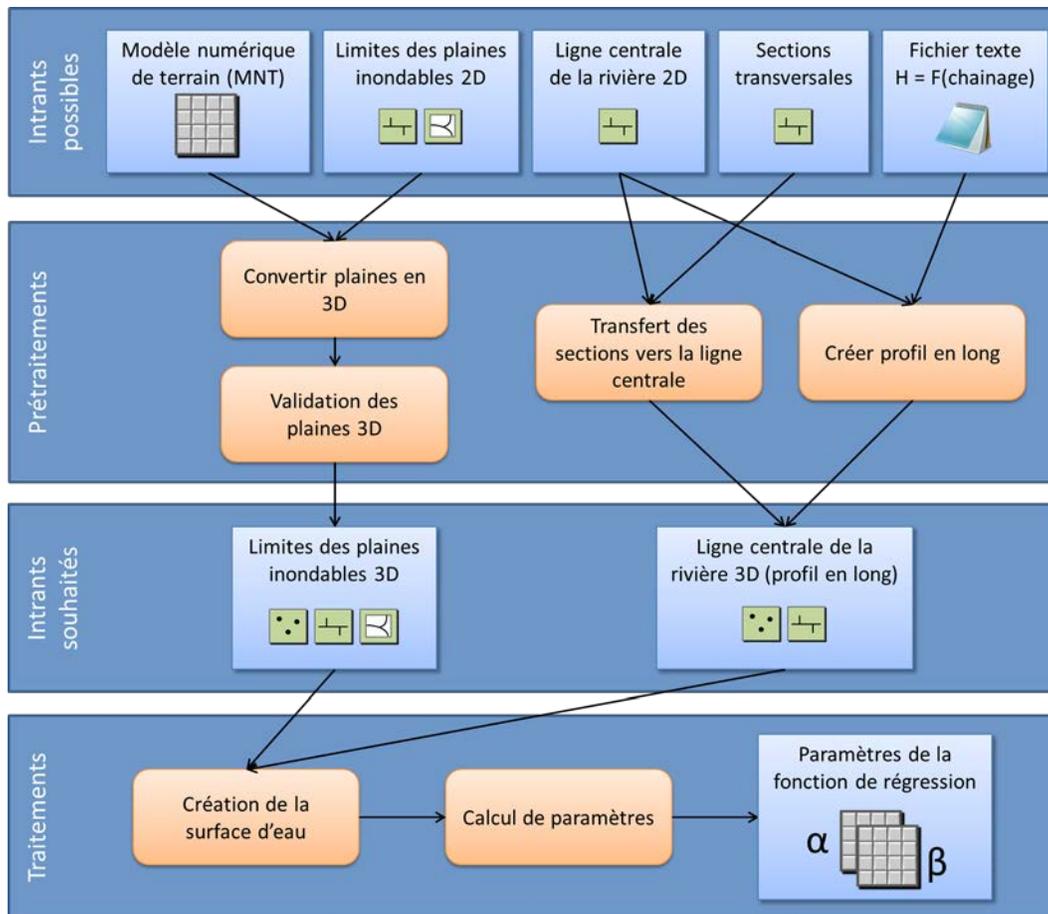


Figure 2 Données et étapes de traitements du mode pré opérationnel

Dans le cadre du projet, les données utilisées n'étaient pas sous les formes souhaitées. Uniquement les limites des plaines inondables en 2D ainsi que la ligne centrale de la rivière en 2D étaient disponibles. Afin de convertir en 3D les plaines inondables, nous avons utilisé le modèle numérique de terrain du CEHQ duquel nous avons extrait l'élévation où la plaine touche le terrain. Une fonction a été développée pour réaliser cette étape (*cf. Convertir plaines en 3D¹*). Dans les secteurs où la rivière est encaissée, les limites des plaines inondables peuvent être les mêmes pour différents débits d'un point de vue planimétrique. Lorsque la hauteur du plan d'eau est déduite à partir des limites en 2D et du MNT, la même hauteur est obtenue pour des débits différents ce qui s'avère problématique. Pour pallier à ce problème, un outil a été développé qui compare plusieurs plaines 3D et en extrait, sous forme de points, toutes les valeurs utilisables

¹ La description des fonctions développées se retrouve en annexe

pour chaque débit (*fct. Validation des plaines 3D*). Pour les profils en long, la 3^e dimension, soit l'élévation, a été ajoutée en utilisant les hauteurs et chainages présentés dans les rapports (*fct. Créer profil en long*). Une fois les intrants souhaités obtenus, ils sont utilisés pour générer une surface simulant le niveau d'eau correspondant à chaque débit. Tel que mentionné précédemment, le débit devrait théoriquement être différent en tous points du domaine. Cependant, comme les surfaces sont générées à partir de données auxquelles nous avons assigné un débit unique, nous considérerons que le débit est le même sur l'ensemble de la surface. Cette supposition est valable pour des variations de débits relativement lentes dans le temps. Si le débit varie de façon très rapide comme dans le cas des crues subites (flash flood), la supposition faite aura tendance à introduire un décalage temporelle dans le système; l'augmentation de débit présente en amont sera détectée en retard, soit lors de son passage au point de mesure. L'évolution spatiale de l'étendue d'eau sera également différente dans le temps ce qui n'est pas pris en considération dans la preuve de concept. Afin de poursuivre le traitement, un minimum de deux surfaces (deux débits) doit être produit. La fonction *Création de la surface d'eau* a été développée afin de pouvoir combiner plusieurs jeux de données, par exemple les limites de plaines et les profils en long, et de les utiliser conjointement dans l'outil d'interpolation géostatistique *Global Polynomial Interpolation* qui ne prend normalement qu'un seul jeu de données comme intrant. Cet outil d'interpolation a été utilisé car il permettait à la fois l'interpolation et l'extrapolation et donc de simuler convenablement une surface d'eau se propageant sous la surface du sol. D'autres outils ou méthodes pourraient être utilisés à cette étape mais il s'agit ici d'une étape importante dans le traitement. Davantage d'investigation devrait être fait afin d'améliorer le processus de création des surfaces d'eau. Un des éléments importants est que chacune des surfaces générées couvre la totalité du territoire de la zone d'étude. La fonction suivante, *calcul des paramètres*, considère uniquement la zone de chevauchement de toutes les surfaces d'eau. Cet outil sert à déterminer les paramètres de la fonction débit-niveau en tout point de la région à l'étude. L'équation utilisée est la suivante :

$$H = \alpha Q^\beta$$

Où, Q, le débit, et H, la hauteur d'eau, sont connus. Il est possible de linéariser cette équation sous la forme :

$$\ln(H) = \alpha \ln(Q) + \beta$$

Le calcul de la fonction de régression se fait pour chacune des mailles communes à toutes les surfaces d'eau (Figure 3). Le résultat est formé de deux matrices contenant les valeurs des paramètres α et β spécifiques à chaque maille du domaine. Une fois les paramètres de la fonction de régression déterminés, les étapes du mode pré-opérationnel sont terminées. Ces étapes ne devront être refaites que si de nouvelles données de débits et de niveaux deviennent disponibles.

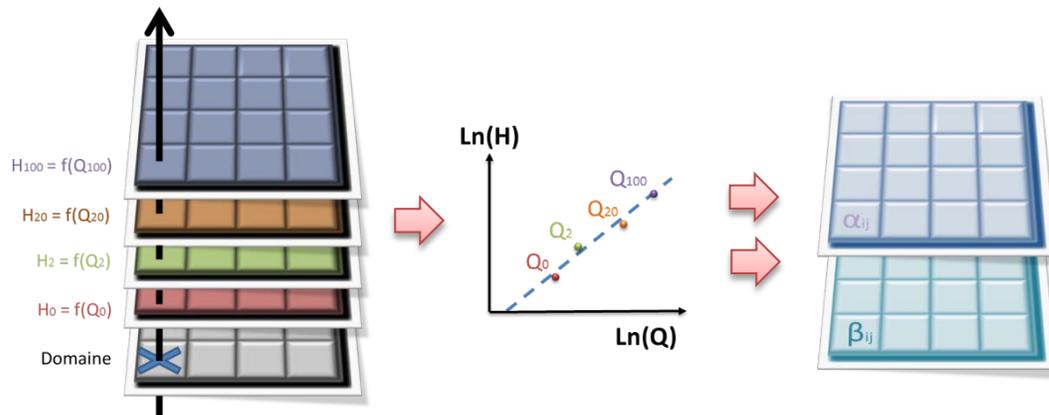


Figure 3 Méthode de détermination des paramètres de la fonction de régression pour l'ensemble du domaine

2.4.2 Mode opérationnel

Le mode opérationnel permet de générer une surface d'eau pour un débit quelconque. Les deux principaux intrants sont les matrices de paramètres déterminés en mode pré-opérationnel ainsi qu'un modèle numérique de terrain (Figure 5). Les paramètres α et β servent à générer la surface d'eau alors que le MNT sert à déterminer la zone inondée de même que la profondeur de submersion. Un troisième intrant est nécessaire pour l'utilisation de la fonction *Création de la plaine inondable*. Il s'agit de la ligne centrale de la rivière ou du polygone représentant cette dernière. Cet intrant sert à ne conserver que la zone inondée qui chevauche le lit principal de la rivière (Figure 4 Gauche). Ainsi, à un débit supérieur au seuil d'inondation, si des régions non connectées avec la principale zone inondée sont présentes, elles seront ignorées de l'analyse jusqu'à ce que le niveau augmente et qu'elles deviennent connectées à la zone principale (Figure 4 Droite). La

fonction *Création de la plaine inondable* a été développée en deux versions, l'une permettant d'entrer manuellement les débits pour lesquels l'utilisateur désire obtenir la zone inondée, l'autre permettant de fournir en entrée un hydrogramme au format texte. L'hydrogramme doit posséder trois colonnes : la date, l'heure et le débit, le tout séparé par des tabulations. Quel que soit la version utilisée, un fichier présentant la zone inondée et la profondeur de submersion est produit pour chaque débit donné (Figure 6).

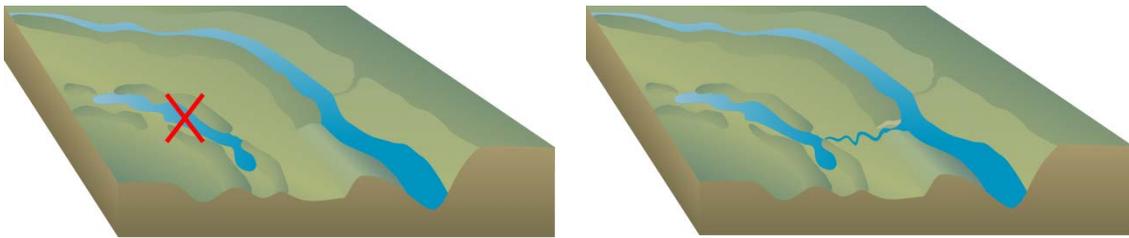


Figure 4 Les étendues d'eau qui apparaissent submergées mais qui ne sont pas connectées au lit principal sont ignorées (gauche). Elles seront considérées lorsque le niveau de l'eau augmentera et qu'il apparaîtra une connexion avec le lit principal (droite). Figures adaptées de Integration and Application Network, University of Maryland Center for Environmental Science (ian.umces.edu/symbols/).

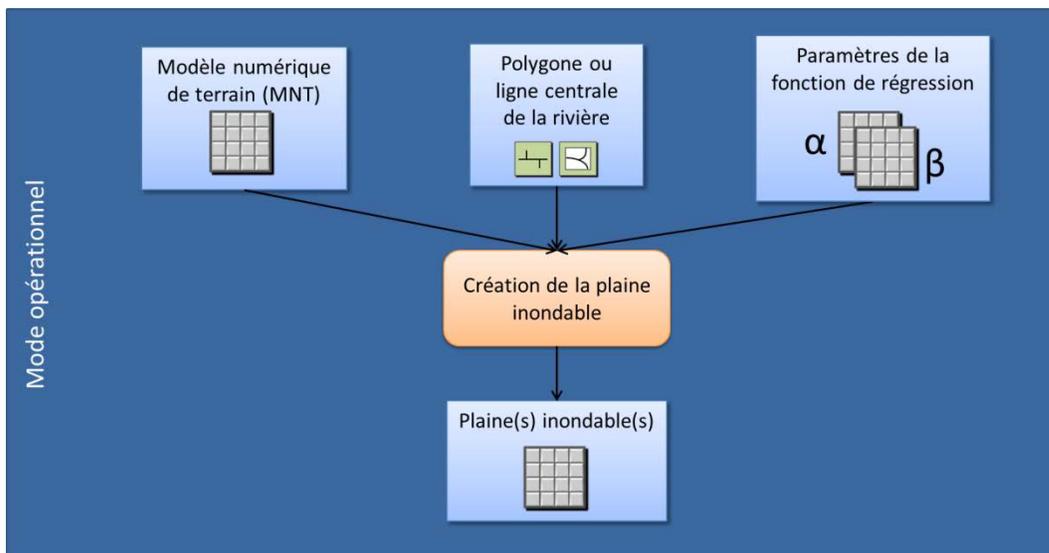


Figure 5 Données et étapes de traitement du mode opérationnel

Le résultat du mode opérationnel représente une approximation de la réalité. Il est dépendant de la qualité et du nombre de surface d'eau utilisée pour le calcul des paramètres, de la qualité et de la résolution du MNT et aussi du débit estimé. Si ce dernier est beaucoup plus grand ou plus petit que les débits utilisés lors de la calibration du mode pré-opérationnel (détermination des paramètres de la fonction débit-niveau), l'extrapolation qui doit être faite risque de réduire la qualité de l'estimation.

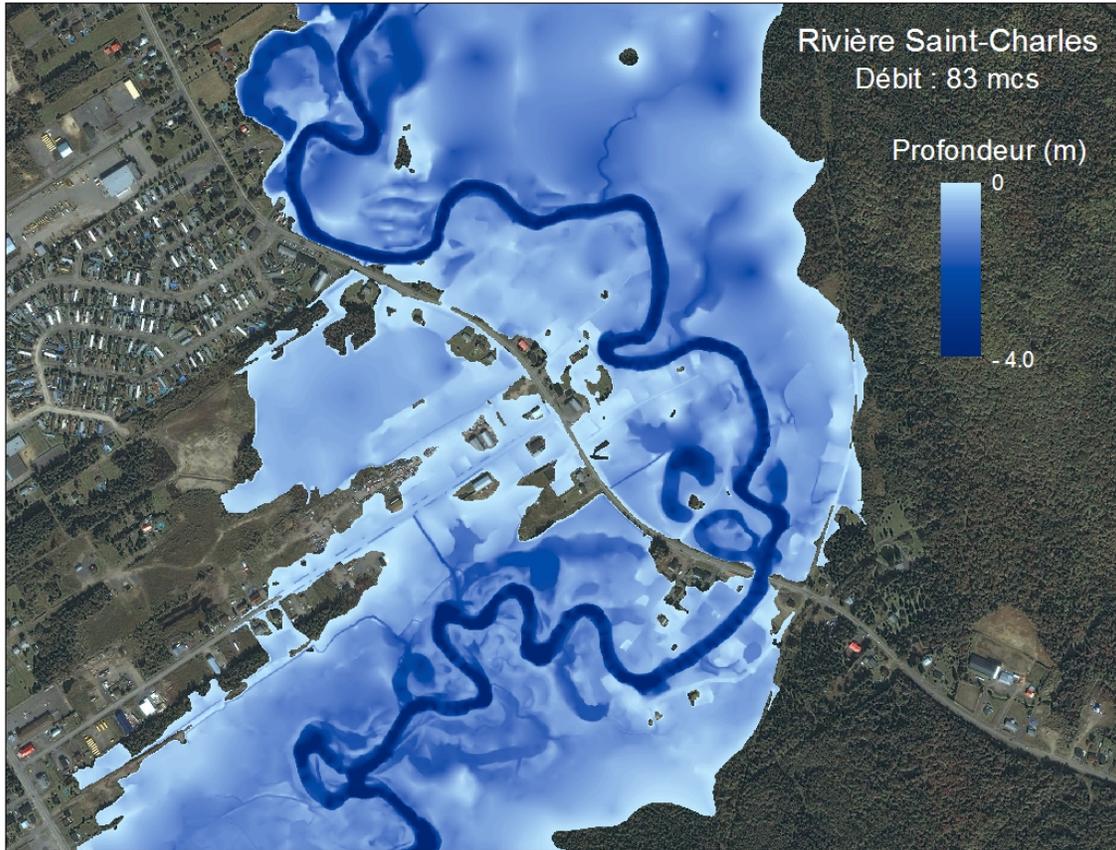


Figure 6 Exemple de plaine inondable et de profondeur de submersion pour un débit de 83 m³/s sur un tronçon de la rivière Saint-Charles, Québec.

3 CARTOGRAPHIE DU RISQUE

3.1 Notions théoriques sur la vulnérabilité

Suite aux travaux de Marion Tanguy (Tanguy et al. 2012), trois types de vulnérabilité ont été considérés dans la cartographie. Il s'agit des vulnérabilités structurelles, fonctionnelles et intrinsèques. De plus, les vulnérabilités fonctionnelles peuvent agir de façon directe ou indirecte alors que les vulnérabilités intrinsèques sont davantage vues comme un facteur aggravant.

3.1.1 Vulnérabilité structurelle

La vulnérabilité structurelle des résidences est déterminée en évaluant la profondeur de submersion au centre du bâtiment (centroïde) et en la comparant aux seuils définis pour le type correspondant de résidences.

Tableau 2 Définition théorique des hauteurs de submersion (en cm) pour chaque niveau de vulnérabilité structurelle, par type de bâtiment ([Tanguy et al. 2012](#)).

	Mineure	Sérieux	Sévère	Très Sévère
Type 1	N/A	>0-15	15-60	>60
Type 2	>0-15	15-30	30-60	>60
Type 3	N/A	>0-15	15-60	>60
Type 4	>0-15	15-30	30-60	>60
Type 5	N/A	>0-15	15-60	>60

3.1.2 Vulnérabilité des infrastructures essentielles

La vulnérabilité fonctionnelle des infrastructures essentielles est déterminée en évaluant la profondeur de submersion au centre du bâtiment (centroïde) et en la comparant aux seuils de défaillance et de non fonctionnalité définis pour le type correspondant d'infrastructure.

Tableau 3 Exemple de seuils de défaillance et de non fonctionnalité pour différentes infrastructures essentielles

	Défaillant	Non fonctionnel
Éléments de gestion de crise		
Caserne de pompiers	0-60 cm	> 60 cm
Hôtel de ville	0-30 cm	>30 cm
Poste de police	0-30 cm	>30 cm

3.1.3 Vulnérabilité indirecte

La vulnérabilité indirecte peut résulter d'un très grand nombre de facteur. En voici quelques-uns :

- Inaccessibilité d'un quartier suite à la submersion des voies d'accès;
- Augmentation du temps de réponse des secours d'urgence en raison des détours occasionnés par des voies d'accès submergées;
- Fermeture d'une usine de filtration des eaux;
- Contamination d'un site suite à l'inondation d'usine de produits chimique;
- Etc.

Dans le cadre de la preuve de concept, nous avons évalué uniquement le premier élément de la liste présentée soit la vulnérabilité indirecte causée par la non fonctionnalité de tronçons du réseau routier. Le réseau routier est l'infrastructure permettant le plus facilement aux individus de se déplacer et d'accéder à leur résidence. Lorsque l'eau submerge un segment du réseau routier et le rend défaillant ou non fonctionnel, tous les déplacements nécessitant d'utiliser ce segment de route deviennent impossibles s'il n'y a pas d'autres routes pour le remplacer. Dans cette situation, l'accessibilité aux résidences (et autres infrastructures) est compromise et cela augmente indirectement la vulnérabilité de ces résidences, que celles-ci soient inondées ou non.

3.1.4 Vulnérabilité intrinsèque

Pour le calcul de la variabilité intrinsèque les données du recensement de 2006 de Statistique Canada au niveau des aires de diffusion (AD) ont été utilisées, les données de 2011 n'étant pas disponible lors de la réalisation du projet. Toutes les AD de la ville de Québec ont été utilisées pour le calcul des quantiles servant au calcul de la vulnérabilité. Le détail des informations utilisés et des traitements réalisés est présenté à la section *Pré traitements effectués* qui suit.

3.2 Données utilisées

Les données utilisées pour l'évaluation et la cartographie du risque, outre celles provenant directement ou indirectement de la partie cartographie de l'aléa, proviennent de la Ville de Québec et de Statistique Canada.

Tableau 4 Source et nature des données utilisées pour la cartographie de la vulnérabilité en fonction de l'aléa

Ville de Québec	Unités d'évaluation Centre de chaussée du réseau routier Bâtiments d'usage principal
Statistique Canada	Limites aires de diffusion Données du recensement de 2006

3.3 Pré traitements effectués

3.3.1 Ville de Québec

Unités d'évaluation : Les données d'évaluation utilisées possédaient un attribut *adresse civique* (CIVIC_A) incomplet. Nous avons utilisé le numéro d'*identification foncière de la Communauté urbaine de Québec* (CUQ_IDF_ID) afin de télécharger l'information manquante sur le site internet de la Ville de Québec et mettre à jour la table d'attributs.

Centre de chaussée du réseau routier : Afin d'être en mesure de réaliser des analyses réseau à partir du jeu de données *centre de chaussée*, nous avons en avons fait une copie que nous avons ensuite converti en réseau géométrique. Pour créer un

réseau géométrique et pouvoir l'utiliser convenablement, les données utilisées doivent être correctement structurées. Si des segments du réseau routier ne sont pas connectés au reste du réseau alors qu'ils le devraient, l'analyse pourrait être faussée. Les données utilisées pour la preuve de concept, soit le réseau routier de la ville de Québec, sont généralement bien structurées bien qu'en certains endroits, des connections soient manquantes ou des segments soient superposés. Nous avons néanmoins édité le réseau à quelques endroits en périphérie du jeu de données afin de supprimer des tronçons de route isolée mais qui devaient vraisemblablement se rattacher à des éléments du réseau routier à l'extérieur de notre zone d'étude.

La création d'un réseau géométrique est expliquée en détails dans l'aide d'ArcGIS. En voici rapidement les étapes. Tout d'abord, un *feature dataset* doit être créé dans une *geodatabase*. Ensuite, le réseau routier doit être importé dans le *feature dataset* nouvellement créé. Une fois cette étape réalisée, il est possible de créer le réseau géométrique dans *ArcCatalog* en cliquant avec le bouton droit sur le *feature dataset*, puis en sélectionnant *new > geometric network*. La fenêtre de création du réseau s'affiche. Suivez les étapes. À l'une d'elles, il est demandé de spécifier le rôle des composants du réseau, ici uniquement la ligne centrale. Pour limiter les problèmes topologiques énoncés précédemment, nous avons considéré la ligne centrale comme un *complex edge*. Cela a pour effet de connecter ensemble toutes les lignes qui se touchent, peu importe si elles possèdent des nœuds communs. L'inconvénient de ce choix est que pour les passages à niveau, toutes les lignes se connectent ensemble. Pour la preuve de concept, cet inconvénient avait un impact négligeable. En mode opérationnel, les erreurs topologiques du réseau devraient être corrigées au préalable et les lignes considérées comme des *simple edges*.

Bâtiments d'usage principal : Les bâtiments sont utilisés à deux niveaux dans la cartographie de la vulnérabilité, soit pour l'évaluation de cette dernière et pour sa représentation. L'évaluation de la vulnérabilité structurelle du bâtiment nécessite d'en connaître le type ainsi que la profondeur de submersion qu'y l'affecte. L'information nécessaire pour en connaître le type se trouve dans le jeu de données *Unités d'évaluation*. Le seul lien qui lie les bâtiments et l'évaluation se trouve au niveau spatial, les bâtiments étant situés, généralement, sur une seule unité d'évaluation. Pour transférer l'information de l'évaluation vers les bâtiments, nous avons converti les seconds en point (le centroïde du bâtiment) et nous avons réalisé un joint spatial. La

conversion en points avait pour but premier de diminuer les chances qu'un bâtiment touche à plus d'une unité d'évaluation. Nous avons ensuite déterminé le type d'habitation en utilisant les informations sur le nombre d'étage (NBR_ETAGE) et les codes d'utilisation du bien-fonds (CUBF_PRINC) et nous avons stocké l'information en tant qu'attribut. La présence ou absence de sous-sol n'étant pas disponible dans les données utilisées, toutes les habitations ont été classifiées comme possédant un sous-sol et uniquement les types de bâtiment 2, 4 et 5 ont été utilisés. Les bâtiments dont l'usage n'est pas une résidence d'habitation ont été classés comme des types 0. L'évaluation de la profondeur de submersion se faisant à la position du centroïde de chaque bâtiment, le jeu de données ponctuelles nouvellement créé a été conservé et aucune information n'a été transféré vers le jeu original de type polygone.

3.3.2 Statistique Canada

Limites aires de diffusion : Aucun traitement particulier n'a été fait aux limites des aires de diffusion outre une reprojction dans le même système de coordonnées que les données de la Ville de Québec. Nous avons ensuite transféré l'identifiant de chacune des aires (ADIDU) vers les centroïdes des bâtiments au moyen d'un joint spatial.

Données du recensement de 2006 : Les données de recensement de 2006 de Statistique Canada au niveau des aires de diffusion (AD) ont été utilisées pour le calcul de la variabilité intrinsèque. Toutes les AD de la Ville de Québec ont été utilisées pour le calcul des quantiles servant au calcul de la vulnérabilité.

Les informations récupérées dans les données du recensement sont les suivantes :

- Population totale
- Population de sexe féminin
- Population de 0 à 4 ans, 5 à 9 ans, de sexe féminin, masculin
- Population de 65 à 69 ans, 70 à 74 ans, 75 à 79 ans, 80 à 84 ans, 85 ans et plus, de sexe féminin, masculin
- Taux d'emploi
- Fréquence du faible revenu après impôt en 2005 %

Ces informations nous ont permis de quantifier les paramètres suivants :

- Proportion de la population de sexe féminin
- Proportion de la population de 9 ans et moins
- Proportion de la population de 65 ans et plus
- Taux d'emploi
- Fréquence du faible revenu après impôt en 2005

Pour chaque AD, nous avons évalué statistiquement dans quel quantile chacun des paramètres se retrouvait par rapport à l'ensemble des AD de la ville de Québec. La vulnérabilité relative à chacun des paramètres a été définie selon le tableau ci-dessous.

Tableau 5 Distinction des niveaux de vulnérabilité établis pour chaque indicateur de vulnérabilité, selon la proportion de l'échantillon de population (adapté de (Tanguy et al. 2012)).

% de la population	Niveaux de vulnérabilité				
	Sans objet	Mineure	Sérieux	Sévère	Très Sévère
Indicateur X	Inférieur à la valeur médiane	Entre la valeur médiane et 3ème quartile	Entre 75% et 95%	Entre 95% et 99%	Supérieur à 99%

Par exemple, si une AD situé sur le territoire de la Ville de Québec est habitée par une proportion de 60% de femme, cela situerait l'AD entre le 95^e et 99^e percentile et serait jugée sévèrement vulnérable aux inondations.

La vulnérabilité totale de l'AD a été calculée en assignant des valeurs de 1 à 4 au niveau de vulnérabilité mineur à très sévère puis en pondérant chacun des paramètres selon une méthode décrite dans (Tanguy et al. 2012). Les poids que nous avons utilisés dans la preuve de concept pour chacun des paramètres fut les suivants (Tableau 6).

Tableau 6 Pondération des indicateurs de vulnérabilité intrinsèque utilisée pour la preuve de concept.

Paramètre	Pondération
Proportion de femme	0,37
Proportion de jeune	0,24
Proportion de personnes âgées	0,08
Taux d'emploi	0,11
Fréquence du faible revenu	0,20

En appliquant les pondérations obtenues au niveau de vulnérabilité déterminé pour chaque paramètre, nous obtenons la vulnérabilité totale de l'AD (Tableau 7).

Tableau 7 Exemple de calcul de vulnérabilité intrinsèque pour une AD

Paramètre	Pondération	Niveau de vulnérabilité	Vulnérabilité pondérée
Proportion de femme	0,37	2	0,74
Proportion de jeune	0,24	1	0,48
Proportion de personnes âgées	0,08	2	0,16
Taux d'emploi	0,11	1	0,22
Fréquence du faible revenu	0,20	3	0,60
Vulnérabilité totale			2,20

La classification de la vulnérabilité totale de l'AD a été déterminée en utilisant des intervalles prédéfinis et la même terminologie que pour les paramètres individuels (Tableau 8).

Tableau 8 Classification finale du niveau de vulnérabilité intrinsèque des AD

Niveaux de vulnérabilité				
Sans objet	Mineure	Sérieux	Sévère	Très Sévère
0	Entre 0 et 1	Entre 1 et 2	Entre 2 et 3	Entre 3 et 4

3.4 Réalisation

La cartographie du risque devrait, d'un point de vue opérationnel, se faire automatiquement en une seule étape visible à l'opérateur. La version proposée dans cette preuve de concept se sépare toutefois en trois parties car une partie manuelle vient entrecouper deux parties automatisées. La partie manuelle ne peut être automatisée avec les outils actuels d'ArcGIS et le langage choisi, Python. Une implémentation uniquement en Python pourrait être une solution pour automatiser cette portion de traitement mais demandait trop de temps dans le cadre du présent projet. Bien que les deux parties automatisées ne réalisent pas les mêmes traitements et n'utilisent pas toutes les mêmes données, tous les intrants nécessaires sont demandés à la première partie et sont transférés à la seconde par l'entremise d'une sauvegarde sous forme de fichier. Les intrants nécessaires sont les suivants (Figure 7) : une matrice de submersion calculée à la phase opérationnelle de la cartographie de l'aléa, les centroïdes des bâtiments, les bâtiments, le réseau routier provenant du réseau géométrique, le fichier des AD avec la vulnérabilité intrinsèque, la base de données contenant les tables avec les seuils de vulnérabilité et finalement le nom d'un fichier pour la sauvegarde des paramètres entre les parties 1 et 3.

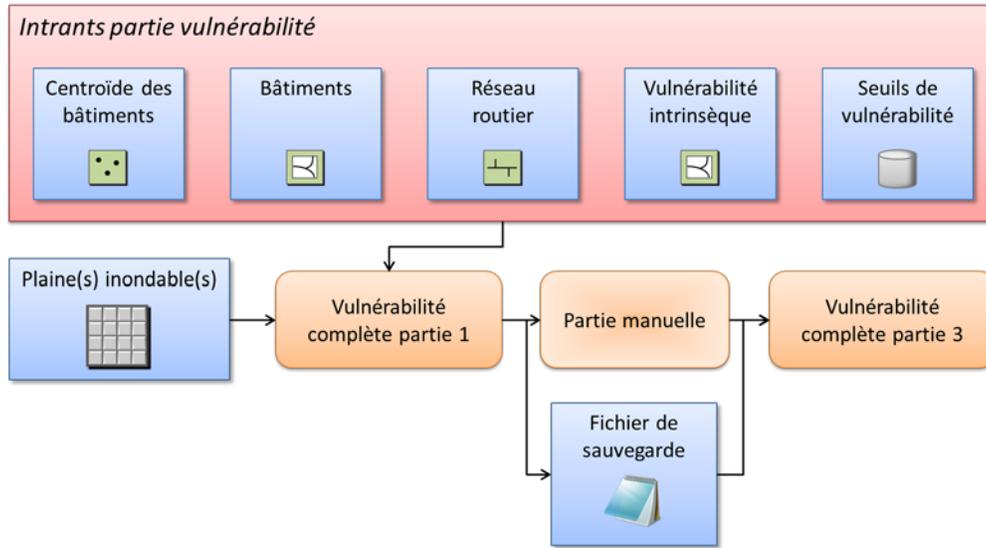


Figure 7 Données et étapes d'évaluation de la vulnérabilité

La première partie (*cf.* *Vulnérabilité complète partie 1*) du traitement permet d'évaluer la vulnérabilité directe des éléments face à l'aléa (vulnérabilité structurelle des bâtiments et vulnérabilité fonctionnelle des infrastructures essentielles et du réseau routier) de même que la vulnérabilité indirecte induite du fait que la route sur laquelle est érigé un bâtiment peut être non fonctionnelle.

En détails, les traitements effectués sont les suivants. Premièrement, les tables contenant les seuils de vulnérabilité sont chargées en mémoire. Ensuite, à partir de la matrice de submersion, les limites de la plaine inondable sont extraites. En utilisant ces limites, les centroïdes des bâtiments se trouvant dans la zone inondée sont sélectionnés et la valeur de submersion est extraite de la matrice pour chacun d'entre eux. Les valeurs extraites sont comparées aux seuils de vulnérabilité structurelle pour les résidences et aux seuils de fonctionnalité pour les infrastructures essentielles. L'évaluation de la fonctionnalité du réseau routier se fait de façon similaire. Les segments se trouvant à l'intérieur de la zone inondée sont sélectionnés. Les segments étant composés de deux points ou plus, lesquels peuvent être fortement espacés, il serait peu pratique d'évaluer la profondeur de submersion à un seul des points. De plus, comme l'espacement entre les points est variable, l'évaluation à tous les points pourraient néanmoins représenter incorrectement la réalité. Les segments sont donc densifiés pour ne pas qu'il y ait plus de 10m entre chaque point et la profondeur de

submersion est évaluée à chacun d'entre eux. Ensuite, pour chaque segment, la profondeur maximale de submersion évaluée à l'un de ses points est utilisée pour en déterminer la fonctionnalité. Si des résidences principales sont érigées sur des segments rendus non fonctionnels, leur degré de vulnérabilité est augmenté d'un niveau. Les résidences dont la vulnérabilité structurelle était nulle présente maintenant une vulnérabilité mineure. Par la suite, l'état de chaque segment du réseau routier est mis à jour pour l'analyse réseau de la partie manuelle selon qu'il soit fonctionnel ou non fonctionnel. Finalement, les variables pertinentes à la 3^e partie sont sauvegardées dans un fichier. Si aucun segment du réseau routier n'est devenu non fonctionnel, la partie 2 n'a pas à être réalisée et la partie 3 est réalisée à la suite de la partie 1 d'une façon transparente à l'utilisateur.

La seconde partie du traitement nécessite une intervention manuelle. Suite à la partie 1, le réseau routier avec un état reflétant la situation de l'aléa est affiché dans ArcMap. Pour déterminer si des sections du réseau routier deviennent isolées suite à la manifestation de l'aléa, vous devez tout d'abord afficher la barre d'outils *Utility Network Analyst* puis sélectionner le réseau à utiliser dans la case *network*. Si aucun réseau n'est disponible, vérifiez que le réseau créé précédemment est présent dans la carte active. Ensuite, vous cliquez sur un des deux boutons *Flag tool* (drapeau bleu) puis vous cliquez sur le réseau routier à un endroit que vous savez ne pas être touché par l'aléa et ne pas être isolé. Finalement, vous sélectionnez *find disconnected* dans la case *Trace task* puis vous cliquez sur le bouton *solve*. Si des portions du réseau sont isolées (portions impossible à atteindre à partir de la position du drapeau), celles-ci devraient apparaître en rouge ou devenir sélectionnées dépendamment de ce qui est spécifié dans l'onglet *results* de la fenêtre *option* de la barre d'outils. Si elles apparaissent en rouge, changez l'option pour *Selection*. Les éléments non fonctionnels du réseau routier sont également présents dans la sélection. Ignorez-les, ils seront traités dans la partie 3.

La dernière partie (*fact. Vulnérabilité complète partie 3*) permet d'évaluer la vulnérabilité indirecte causée par le réseau routier, de même qu'à majorer la vulnérabilité des bâtiments s'il y a lieu par la vulnérabilité intrinsèque de l'AD. Pour la réaliser convenablement, vous devez utiliser le réseau routier avec la sélection des segments isolés toujours active. Le traitement se déroule comme suit. Dans l'ordre, nous séparons tout d'abord les segments *isolés* des segments *non fonctionnels*. Si des segments isolés sont présents, la vulnérabilité des résidences se trouvant sur ces derniers est majorée

d'un niveau. Par la suite, tous les bâtiments résidentiels ayant une vulnérabilité, qu'elle soit structurelle ou causée de façon directe ou indirecte par le réseau routier, sont considérés dans l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque. Pour chaque résidence, si leur vulnérabilité est plus petite que la vulnérabilité intrinsèque de l'AD dans laquelle la résidence se situe, la vulnérabilité est majorée de 1. Finalement, les fichiers de sortie sont créés et sont ajoutés avec une symbologie représentative à la carte active d'ArcGIS (Figure 8). Seuls les éléments vulnérables ou touchés directement par l'aléa sont représentés dans les fichiers de sortie. Le premier fichier représente la vulnérabilité des résidences. Un attribut (*STATUS*) renseigne sur le niveau de vulnérabilité (mineur à très sévère) alors qu'un second (*Description*) indique la ou les sources de vulnérabilité (Figure 9). Le second fichier représente la fonctionnalité des infrastructures essentielles et comporte les mêmes attributs que le fichier des résidences. Le troisième fichier montre l'état du réseau routier (*STATUS*), à savoir si les tronçons sont défectueux, non-fonctionnels ou isolés (Figure 10). De plus, un attribut indique la profondeur maximale de submersion (*MAX_PROF*).

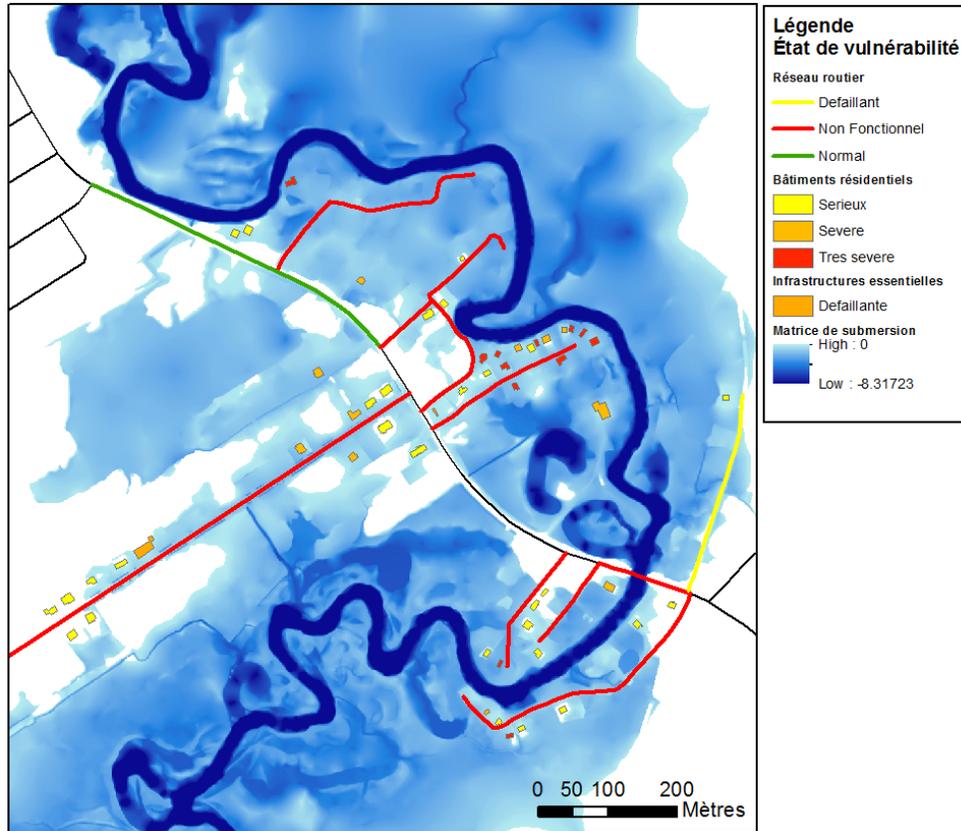


Figure 8 Affichage des fichiers de sortie dans ArcGIS

Table

Etat_batiments_residentiels

ID_bat	STATUS	Description
2758	Tres_severe	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
3073	Serieux	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
4668	Severe	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
6720	Severe	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
6862	Serieux	Route fermee; Agravations socio-economiques
7915	Serieux	Route fermee; Agravations socio-economiques
8178	Tres_severe	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
9645	Tres_severe	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
11768	Serieux	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
14379	Tres_severe	Vulnerabilite structurelle; Route fermee
16298	Tres_severe	Vulnerabilite structurelle; Route fermee

(0 out of 53 Selected)

Etat_batiments_residentiels

Figure 9 Exemple d'attributs ajoutés à la table des bâtiments après l'évaluation de la vulnérabilité

NO_SEQ	STATUS	MAX_PROF
119221	Non_fonctionnelle	-0.495655
119222	Non_fonctionnelle	-0.576459
119238	Non_fonctionnelle	-0.786503
119241	Non_fonctionnelle	-0.90429
119243	Non_fonctionnelle	-0.567694
119246	Non_fonctionnelle	-3.660763
119250	Defaillante	-0.23126
119253	Non_fonctionnelle	-0.400516
119254	Non_fonctionnelle	-0.424252
119255	Non_fonctionnelle	-0.674534

Figure 10 Exemple d'attributs ajoutés à la table du réseau routier après l'évaluation de la vulnérabilité

Un outil a été ajouté afin de combiner les outils *Création de la plaine inondable* (cartographie de l'aléa) et *Vulnérabilité complète partie 1* (cartographie de la vulnérabilité). Cet outil permet d'enchaîner les étapes autrement réalisées par les deux outils ayant servi à le créer (Figure 11). Il permet donc d'évaluer la vulnérabilité directement à partir d'un débit. Les résultats cartographiques de l'évaluation de la vulnérabilité étant temporaire, un seul débit ne peut être utilisé à la fois.

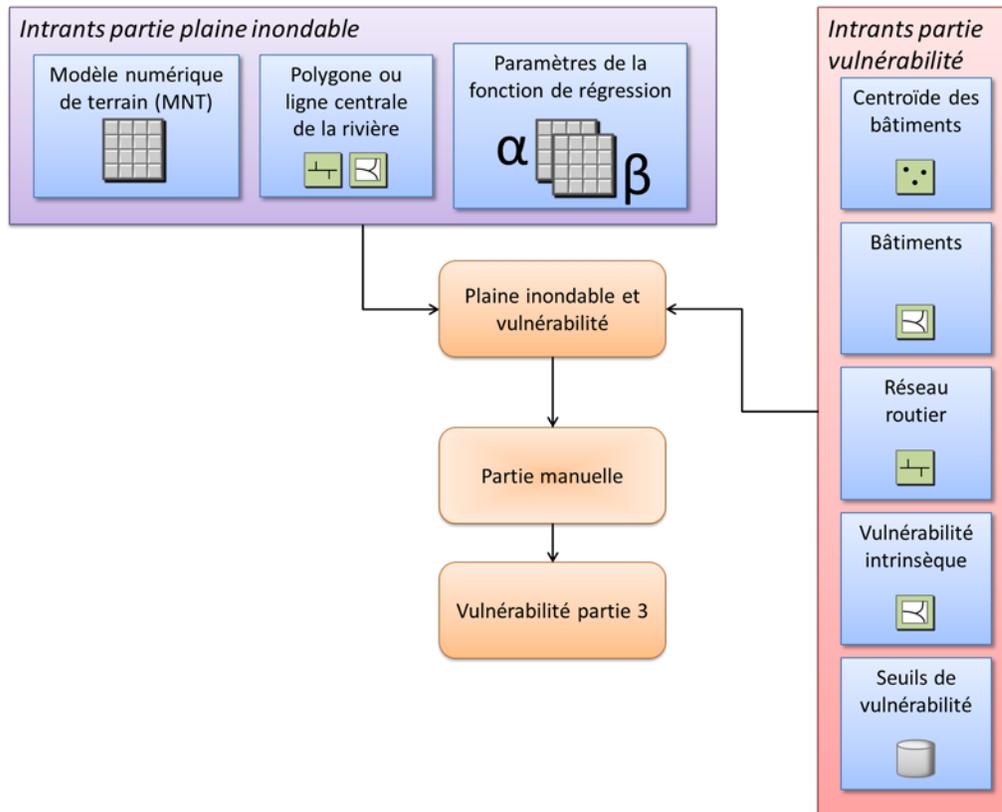


Figure 11 Données et étapes de la cartographie de la plaine inondable et de l'évaluation de la vulnérabilité

4 CONCLUSION

Le travail réalisé dans le cadre de ce projet a permis de démontrer la faisabilité de produire dynamiquement des cartes de plaines inondables pour des débits quelconques en utilisant des données existantes comme celles provenant des programmes de cartographie des zones inondables du CEHQ. Cette cartographie a ensuite pu être utilisée afin d'évaluer le risque de la population face aux inondations. Le développement de la méthodologie présentée dans ce projet s'est effectué en deux temps selon trois phases.

Premièrement, une méthodologie de cartographie dynamique de l'aléa a été élaborée. La notion de dynamique tient du fait que l'aléa peut être cartographié selon des débits arbitraires et non uniquement selon une gamme de débits prédéfinis. Cette méthodologie repose à la base sur l'utilisation des données existantes relatives aux zones inondables produites par le CEHQ. Ces données ont servi à recréer des plans d'eau se rapportant à différents débits et par la suite à déterminer les paramètres de différentes relations débit-niveau applicables en tous points du domaine d'étude. Une fois ces paramètres déterminés, la relation débit-niveau permet d'obtenir le niveau de l'eau pour un débit quelconque. Utilisé conjointement avec un modèle numérique de terrain, il est possible de déterminer la profondeur de submersion à l'intérieur du domaine.

Parallèlement, des travaux sur les dimensions de la vulnérabilité du risque lié aux inondations ont été menés par Mme Marion Tanguy (Tanguy et al. 2012). Trois dimensions importantes de la vulnérabilité ont été mises en évidence. Il s'agit des vulnérabilités structurelles, fonctionnelles et intrinsèques. Des méthodes d'évaluation propres à chaque dimension de la vulnérabilité ont été développées de même qu'une méthode permettant de combiner les différentes dimensions en une seule évaluation globale de la vulnérabilité.

Deuxièmement, la méthodologie de cartographie dynamique de l'aléa a été bonifiée afin d'y inclure les résultats des travaux portant sur les aspects de la vulnérabilité. Cette nouvelle méthodologie a permis d'obtenir une cartographie dynamique du risque en fonction de l'évolution de l'aléa. Dans l'implémentation, les vulnérabilités structurelles et fonctionnelles ont été évaluées en utilisant la cartographie de l'aléa et les données du

rôle d'évaluation de la Ville de Québec. La vulnérabilité intrinsèque, qui n'est pas présenté comme étant lié directement à l'aléa, a été évaluée en utilisant uniquement les données du recensement 2006 de Statistique Canada. Pour les fins de la preuve de concept, uniquement le réseau routier a été retenu et utilisé pour démontrer les effets indirects de la dimension fonctionnelle de la vulnérabilité.

Finalement, la méthodologie proposée s'avère simple et peut rapidement être mise en place lorsque les données nécessaires sont disponibles. L'évaluation du risque est l'aspect qui peut devenir le plus exigeant de la procédure dans la mesure où l'interrelation entre les infrastructures essentielles peut mener à un très grand nombre d'effets directs et indirects sur la population.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Adelekan, I. O. (2010). "Vulnerability assessment of an urban flood in Nigeria: Abeokuta flood 2007." Natural Hazards: 1-17.
- Adikari, Y., R. Osti, et al. (2010). "Flood-related disaster vulnerability: An impending crisis of megacities in Asia." Journal of Flood Risk Management **3**(3): 185-191.
- Ares, M. (2008). Econova Flood Warning System: Geo-Information for Real Time Flood Risk Management. XXIst ISPRS Congress, Beijing, CHINA, ISPRS.
- Blin, P., M. Leclerc, et al. (2005). "Cartographie du risque unitaire d'endommagement (CRUE) par inondations pour les résidences unifamiliales du Québec." Revue des Sciences de l'Eau **18**(4): 427-451.
- Buchele, B., H. Kreibich, et al. (2006). "Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks." Natural Hazards and Earth System Science **6**: 485-503.
- CEHQ. (2010). "Prévisions hydrologiques et hydrauliques." Retrieved 2010, 2010, from <http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/prevision/>.
- CEHQ. (2010). "Rapports techniques et cartographie des zones inondables en eau libre." 2010, from <http://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/cartographie/index.htm>.
- Direction de la cartographie topographique. (2008). "La cartographie du « Programme de détermination des cotes de crues de récurrences (PDCC) »." 2010, from http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/territoire/expertise/15_PDCC_mai2008.pdf.
- ESRI. (2011, Juin 6). "How Topo to Raster works." ArcGIS Resource Center Retrieved Octobre 22, 2012, from <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z0000007m000000.htm>.
- Fekete, A., M. Damm, et al. (2009). "Scales as a challenge for vulnerability assessment." Natural Hazards: 1-19.
- Gauthier, Y., L.-M. Pâquet, et al. (2008). "Using Radar Images and GIS to Support Ice-Related Flood Forecasting." GEOMATICA **62**(2): 139-150.
- Hutchinson, M. F. (1988). Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Third International Symposium on Spatial Data Handling. Sydney, Australia.
- Hutchinson, M. F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology. **106**: 211–232.
- Leclerc, M., P. Boudreau, et al. (2006). Contribution à la recherche d'une solution intégrée au risque d'inondation à Châteauguay. Pour le compte de la Ville de Châteauguay en collaboration avec le ministère de la Sécurité publique, INRS-ETE: 280 pages.
- Leclerc, M., Y. Secretan, et al. (2003). "Une méthode prédictive non-biaisée et géoréférencée d'estimation des dommages résidentiels d'inondation." Revue canadienne de Génie civil **30**(5): 914-922.

- Merz, B., H. Kreibich, et al. (2010). "Review article "assessment of economic flood damage"." Natural Hazards and Earth System Science **10**(8): 1697-1724.
- Oh, E. H., A. Deshmukh, et al. (2010). Vulnerability assessment of critical infrastructure, associated industries, and communities during extreme events. Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, Banff, AB, ASCE
- Papathoma-Köhle, M., M. Kappes, et al. (2010). "Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs." Natural Hazards: 1-36.
- Plate, E. J. (2002). "Flood risk and flood management." Journal of Hydrology **267**(1-2): 2-11.
- Tanguy, M., K. Chokmani, et al. (2012). Caractérisation de la vulnérabilité des populations aux inondations en milieu urbain. Québec.
- Wahba, G. (1990). Spline models for Observational data. Essai présenté lors d'une série de conférences régionales du CBMS-NSF sur les Mathématiques appliquées., Philadelphia, Soc. Ind. Appl. Maths.

ANNEXE

ANNEXE 1 OUTILS DÉVELOPPÉS UTILISABLES À PARTIR D'ARCGIS

Dans la cadre du projet, un certain nombre d'outils ont été développé afin d'automatiser des traitements ou d'offrir des interfaces plus personnalisés aux outils déjà présents dans ArcGIS. Ces outils ont été développés en utilisant le langage de programmation Python, lequel est invisible à l'utilisateur lors de l'utilisation. Selon les outils créés, un certain nombre d'autres outils déjà disponibles dans ArcGIS à partir de ArcToolbox ont été utilisés. Lorsque c'est le cas, ces outils déjà existant seront énumérés dans un tableau suivant la description de l'outil créé. Si des contraintes sont associées à ces outils, par exemple une licence particulière, elles seront également mentionnées.

Convertir plaines en 3D

Permet de créer des polygones ou des polygones 3D en extrayant l'élévation de chacun des vertex à partir d'un MNT.

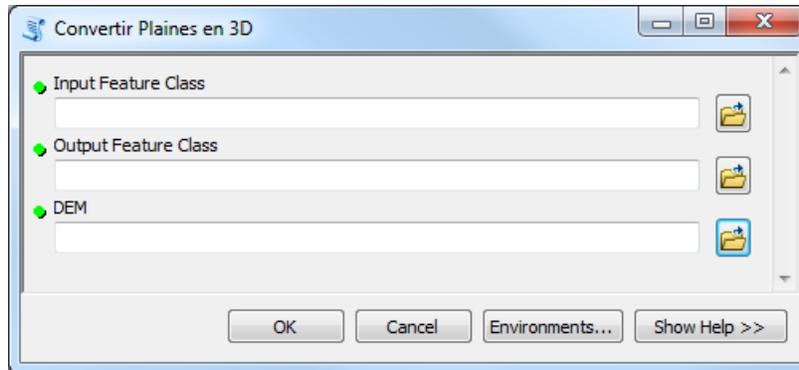


Figure 12 Boîte de dialogue de l'outil *Convertir plaines en 3D*

Tableau 9 Description des paramètres de l'outil *Convertir plaine en 3D*

Paramètres	Description
Input Feature Class	Fichier des polygones ou des polygones en 2D
Output Feature Class	Fichier 3D qui sera créé
DEM	Modèle numérique de terrain utilisé pour déterminer l'élévation des vertex

Tableau 10 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Convertir plaine en 3D*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
ExtractValuesToPoints	Spatial Analyst
CreateFeatureclass_management	
Delete_management	

Validation des plaines 3D

Permet de s'assurer que les élévations extraites d'un MNT sont valables pour représenter le niveau de l'eau. Dans le cas où la limite de plusieurs plaines se situe exactement au même endroit, la même élévation sera extraite du modèle numérique de terrain, laquelle n'est pas représentative du niveau de l'eau. La sortie de cet outil sous forme de fichiers de points correspond aux vertex valides de chaque plaine inondable.

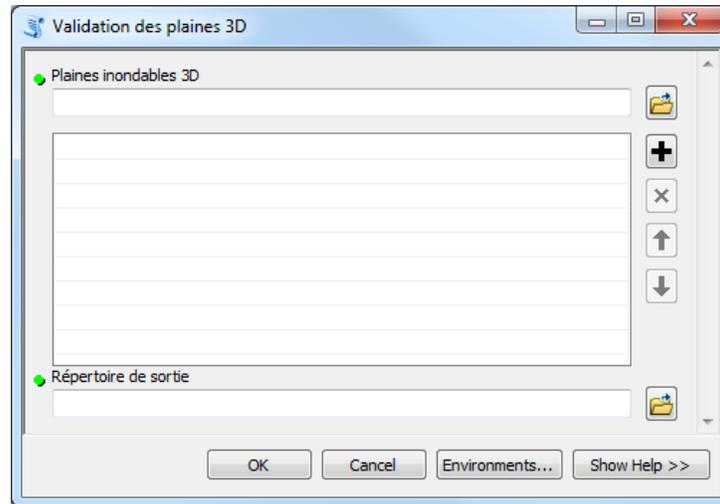


Figure 13 Boîte de dialogue de l'outil *Validation des plaines 3D*

Tableau 11 Description des paramètres de l'outil *Validation des plaines 3D*

Paramètres	Description
Plaines inondables 3D	Chacun des fichiers de polygones ou de polygones dont les valeurs de 3D ont été obtenues par l'outil <i>Convertir plaine en 3D</i>
Répertoire de sortie	Répertoire dans lequel les fichiers de points seront créés

Tableau 12 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Validation des plaines 3D*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
CreateFeatureclass_management	
AddField_management	
CopyFeatures_management	

Créer Profil en Long

Permet de créer un profil en long 3D à partir d'une ligne médiane et d'un fichier texte contenant la distance en mètre et l'élévation. L'outil ne conserve que la partie comprise entre la première et la dernière section si la ligne médiane est plus longue.

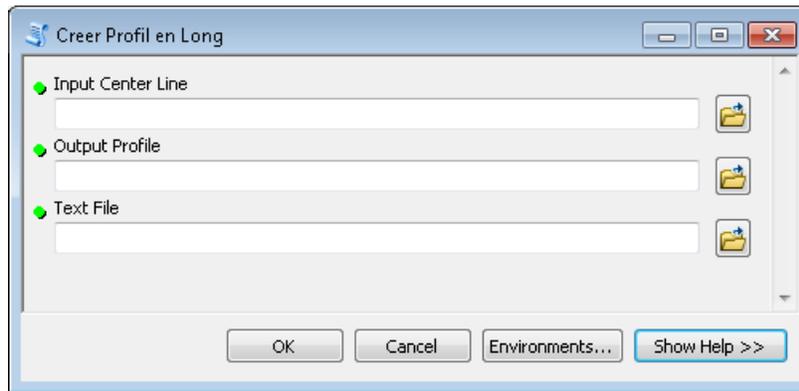


Figure 14 Boîte de dialogue de l'outil *Créer Profil en Long*

Tableau 13 Description des paramètres de l'outil *Créer Profil en Long*

Paramètres	Description
Input Center Line	Fichier correspondant à la ligne centrale de la rivière en 2D
Output Profile	Nom et chemin d'accès du profil en long 3D créé
Text File	Fichier texte contenant en deux colonnes le chaînage et l'élévation

Tableau 14 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Créer Profil en Long*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
CreateFeatureclass_management	

Transfert des cotes vers les sections

Permet de copier des valeurs d'élévation contenues dans un jeu de données ou une table *cotes* vers un jeu de données linéaires (*sections*).

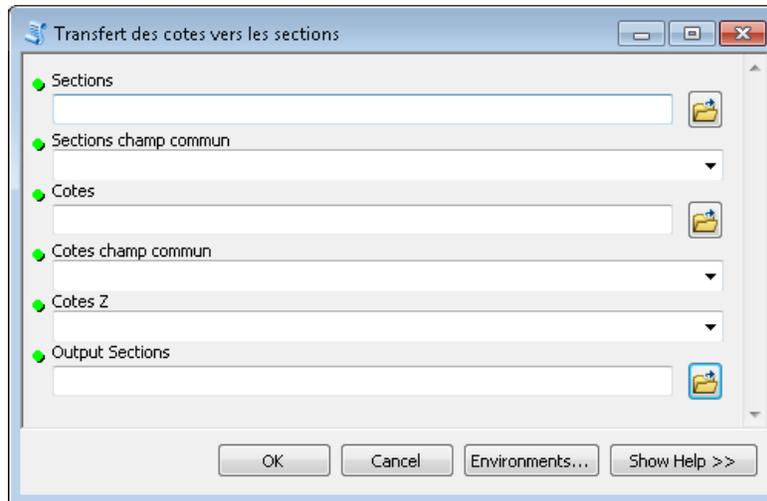


Figure 15 Boîte de dialogue de l'outil *Transfert des cotes vers les sections*

Tableau 15 Description des paramètres de l'outil *Transfert des cotes vers les sections*

Paramètres	Description
Sections	Fichier contenant les sections
Sections champ commun	Champ du jeu de données <i>sections</i> qui permettra de faire le lien avec le jeu de données <i>cotes</i>
Cotes	Fichier ou table contenant les cotes
Cotes champ commun	Champ du jeu de données <i>cotes</i> qui permettra de faire le lien avec le jeu de données <i>sections</i>
Cotes Z	Champ du jeu de données <i>cotes</i> qui contient les valeurs d'élévation
Output Sections	Nom du fichier qui sera créé

Tableau 16 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Transfert des cotes vers les sections*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
FeatureClassToFeatureClass_conversion	

Transfert des sections vers la ligne centrale

Permet de transférer l'information sur le niveau de l'eau calculé à chaque section vers la ligne centrale de la rivière afin de recréer le profil en long. Le point d'intersection de chaque section avec la ligne centrale est le point de transfert. L'outil ne conserve que la partie comprise entre la première et la dernière section si la ligne médiale est plus longue.

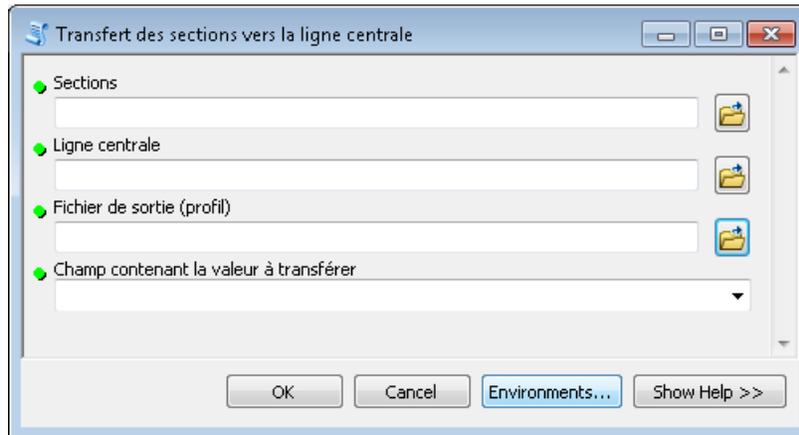


Figure 16 Boîte de dialogue de l'outil *Transfert des sections vers la ligne centrale*

Tableau 17 Description des paramètres de l'outil *Transfert des sections vers la ligne centrale*

Paramètres	Description
Sections	Fichier contenant les sections
Ligne centrale	Fichier contenant la ligne centrale de la rivière
Fichier de sortie	Fichier de sortie (profil en 3D)
Champ contenant la valeur à transférer	Champ du jeu de données <i>sections</i> qui servira à interpoler les valeurs d'élévation pour créer le profil 3D

Tableau 18 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Transfert des sections vers la ligne centrale*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
FeatureClassToFeatureClass_conversion	

Créer Cotes avec fichier texte

Permet de créer des points le long d'une ligne à des distances spécifiées dans un fichier texte (colonne 1). La valeur Z du point est aussi spécifiée dans le fichier texte (colonne 2).

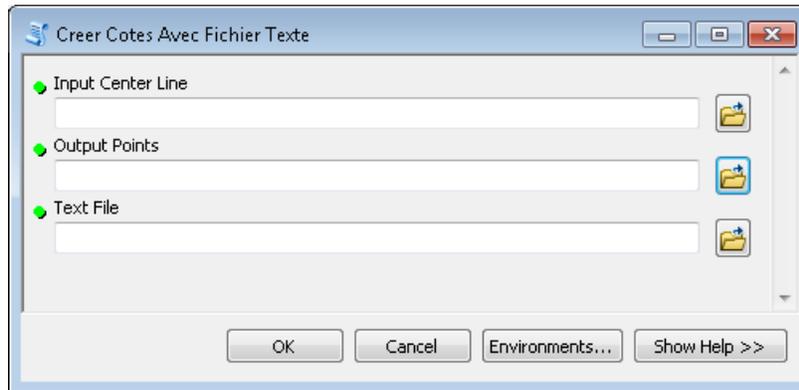


Figure 17 Boîte de dialogue de l'outil *Créer Cotes avec fichier texte*

Tableau 19 Description des paramètres de l'outil *Créer Cotes avec fichier texte*

Paramètres	Description
Input Center Line	Fichier contenant la ligne centrale
Output Points	Fichier de sortie qui contiendra les points cotés
Text File	Fichier texte contenant le chaînage (colonne 1) et l'élévation (colonne 2) de chaque point

Tableau 20 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Créer Cotes avec fichier texte*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
CreateFeatureclass_management	
AddField_management	

Extraire Cotes Selon Distance

Permet de créer des points le long d'une polygone à des distances fixes. La valeur Z du point est interpolée à partir de la géométrie de la polyline.

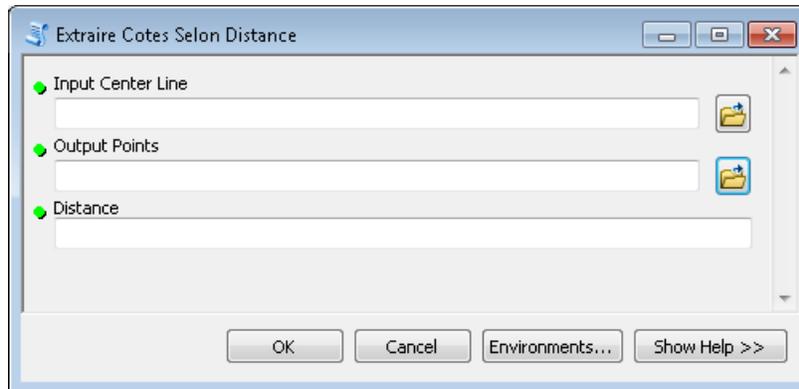


Figure 18 Boîte de dialogue de l'outil Validation des plaines 3D

Tableau 21 Description des paramètres de l'outil Validation des plaines 3D

Paramètres	Description
Input Center Line	Fichier contenant la ligne centrale
Output Points	Fichier de sortie qui contiendra les points cotés
Distance	Distance entre chaque point

Tableau 22 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil Validation des plaines 3D

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
CreateFeatureclass_management	
AddField_management	

Calcul du chainage

Effectue le calcul du chainage sur une polyline et écrit l'information soit comme attribut dans un fichier de points ou comme valeur M dans la géométrie d'un fichier de polyline.

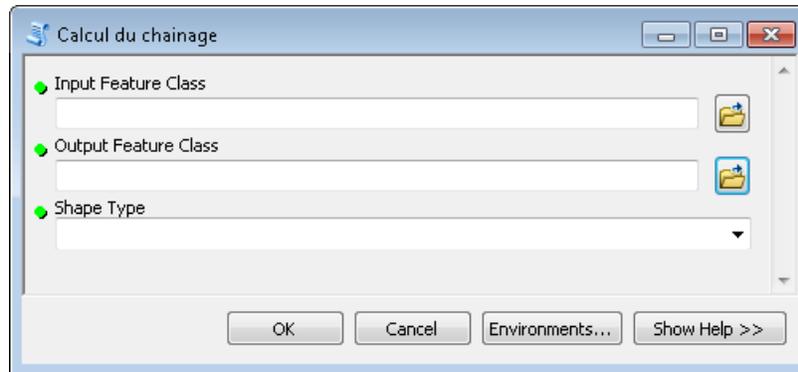


Figure 19 Boîte de dialogue de l'outil *Calcul du chainage*

Tableau 23 Description des paramètres de l'outil *Calcul du chainage*

Paramètres	Description
Input Feature Class	Fichier contenant la polyline
Output Feature Class	Fichier de sortie qui contiendra l'information de chaînage
Shape Type	Géométrie du fichier de sortie

Tableau 24 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Calcul du chainage*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
AddField_management ¹	
FeatureClassToFeatureClass_conversion ¹	
Notes	
¹ Si la géométrie de sortie est de type point	

Création de la surface d'eau

Génère une matrice représentant le niveau de l'eau à partir de la valeur Z extraite des fichiers fournis en entrée. La valeur Z doit se retrouver au même endroit (géométrie ou champ commun) pour tous les fichiers

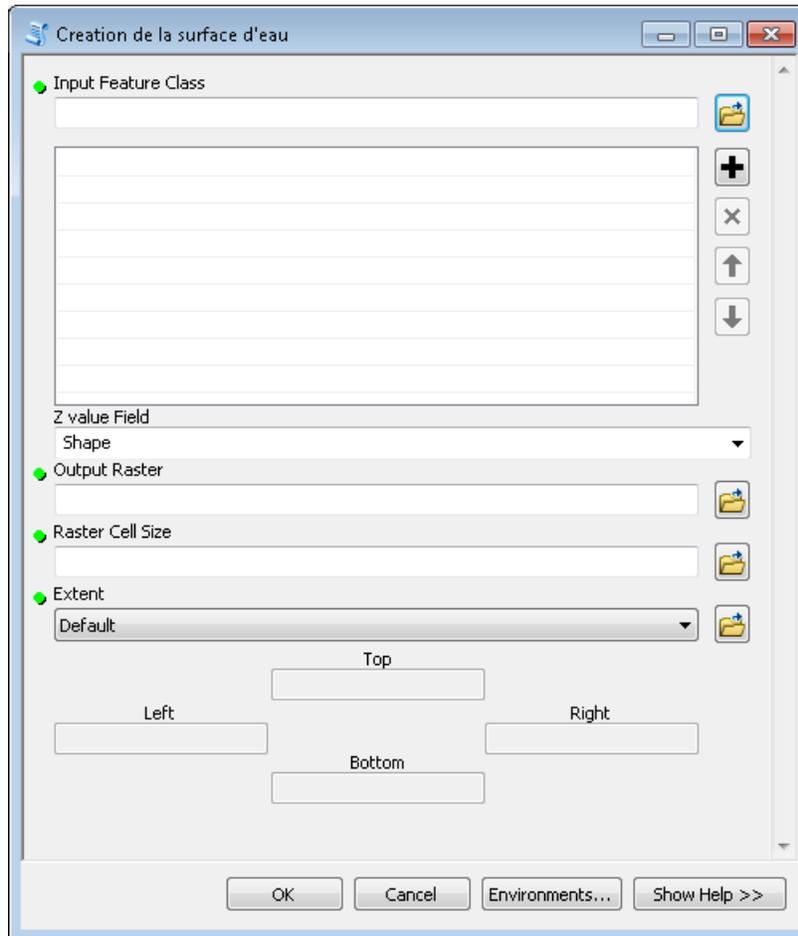


Figure 20 Boîte de dialogue de l'outil *Création de la surface d'eau*

Tableau 25 Description des paramètres de l'outil *Création de la surface d'eau*

Paramètres	Description
Input Feature Class	Fichiers contenant de l'information sur l'élévation de l'eau pour un débit donné
Z value Field	Champ où se retrouve l'information sur l'élévation de l'eau
Output Raster	Fichier matriciel créé
Raster Cell Size	Taille des pixels de la matrice créée
Extent	Étendue de la matrice créée

Tableau 26 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Création de la surface d'eau*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
GlobalPolynomialInterpolation	Geostatistical Analyst
Delete_management	

Création de la surface d'eau (2)

Génère une matrice représentant le niveau de l'eau à partir de la valeur Z des vertex du fichier fourni en entrée.

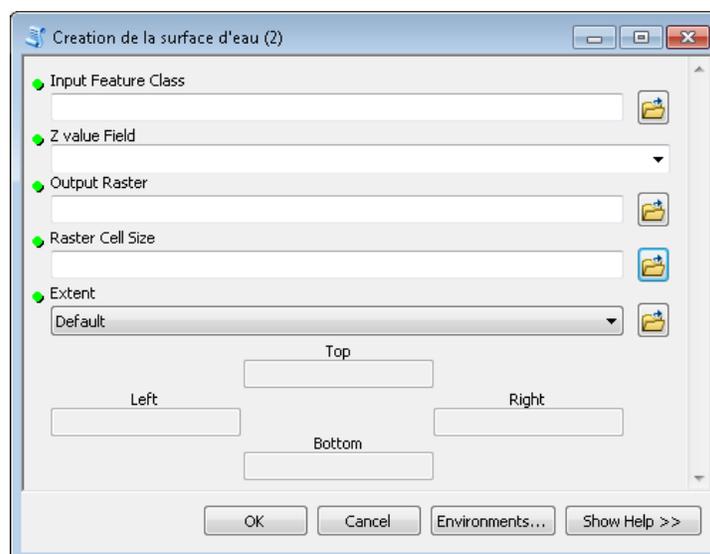


Figure 21 Boîte de dialogue de l'outil *Création de la surface d'eau (2)*

Tableau 27 Description des paramètres de l'outil *Création de la surface d'eau (2)*

Paramètres	Description
Input Feature Class	Fichier contenant de l'information sur l'élévation de l'eau pour un débit donné
Z value Field	Champ où se retrouve l'information sur l'élévation de l'eau
Output Raster	Fichier matriciel créé
Raster Cell Size	Taille des pixels de la matrice créée
Extent	Étendue de la matrice créée

Tableau 28 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Création de la surface d'eau (2)*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
Merge_management	
GlobalPolynomialInterpolation	Geostatistical Analyst
Delete_management	

Calcul des paramètres

Détermine les paramètres α et β de la relation débit-niveau pour chaque maille du domaine d'étude, soit la région commune à toutes les matrices de niveaux d'eau.

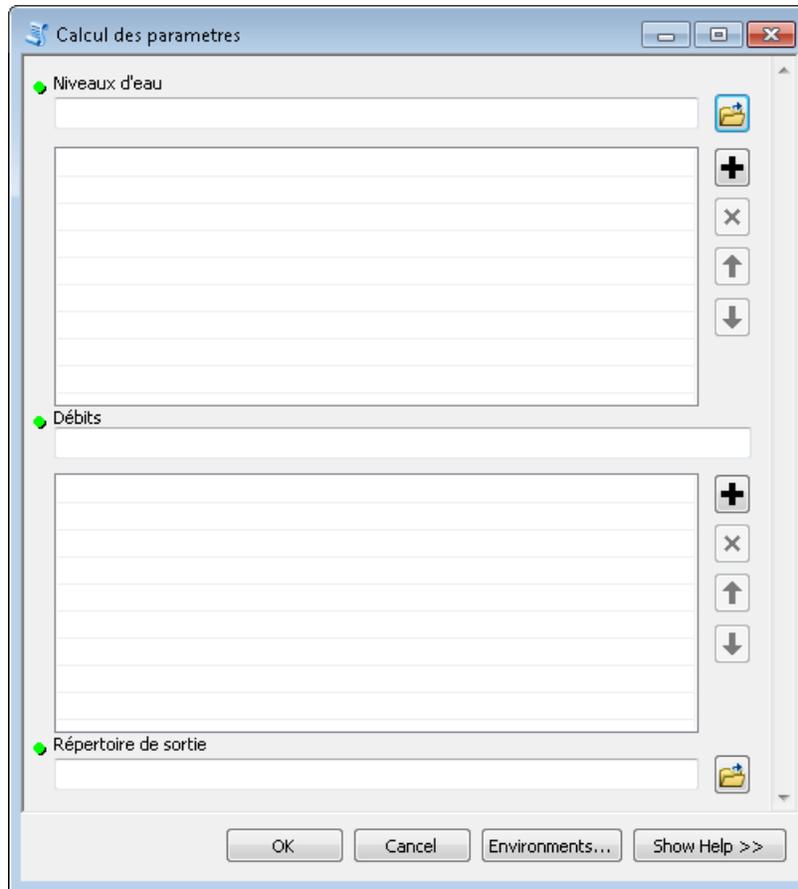


Figure 22 Boîte de dialogue de l'outil *Calcul des paramètres*

Tableau 29 Description des paramètres de l'outil *Calcul des paramètres*

Paramètres	Description
Niveaux d'eau	Fichiers représentant les surfaces d'eau correspondant à différents débits
Débits	Les débits correspondants aux niveaux d'eau précédents
Répertoire de sortie	Répertoire dans lequel sera enregistrée les matrices de paramètres α et β

Tableau 30 Outils d’ArcGIS utilisés dans l’outil *Calcul des paramètres*

Outils d’ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
DefineProjection_management	
Module Python Numpy ¹	v1.6 et +
Notes	
¹ Le module Numpy v1.3 est installé avec ArcGIS v10	

Création de la plaine Inondable

Permet de créer les plaines inondables associées à l'hydrogramme spécifié dans le fichier texte en se servant des paramètres calculés en utilisant l'outil *Calcul des paramètres* et d'un modèle numérique de terrain.

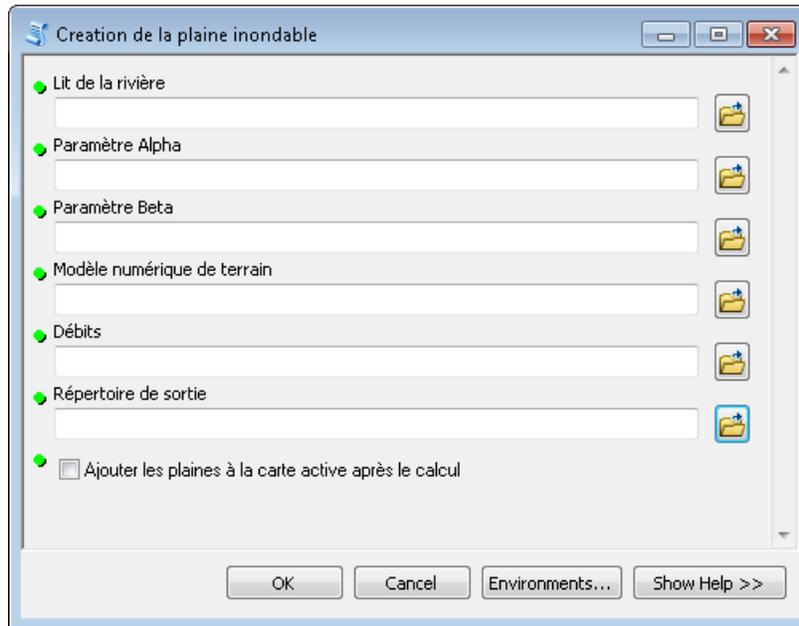


Figure 23 Boîte de dialogue de l'outil *Création de la plaine Inondable*

Tableau 31 Description des paramètres de l'outil *Création de la plaine Inondable*

Paramètres	Description
Lit de la rivière	Fichier contenant le lit de la rivière, soit sous la forme de sa ligne centrale, soit le polygone représentant la rivière
Paramètre Alpha	Paramètre alpha déterminé par l'outil <i>Calcul des paramètres</i>
Paramètre Beta	Paramètre beta déterminé par l'outil <i>Calcul des paramètres</i>
Modèle numérique de terrain	Modèle numérique de terrain couvrant le domaine d'étude
Débits	Hydrogramme sous forme de fichier texte contenant trois colonnes : la date, l'heure et le débit.
Répertoire de sortie	Répertoire dans lequel seront créées les matrices représentant les surfaces d'eau correspondant aux débits de l'hydrogramme
Ajouter les plaines à la carte active après le calcul	Détermine si l'outil ajoute les surfaces d'eau calculées à la carte suite aux traitements.

Tableau 32 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Création de la plaine Inondable*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
Module Spatial Analyst	Spatial Analyst
Module Python Numpy	v1.6
Module Python Scipy	V0.9.0
RasterToPolygon_conversion	
MakeFeatureLayer_management	
SelectLayerByLocation_management	
PolygonToRaster_conversion	ArctInfo, Spatial Analyst ou 3D Analyst
Notes	
Des fonctions du module Scipy qui ne sont pas disponibles dans le module numpy sont utilisées. Ces fonctions relèvent de la morphologie mathématique et servent à lisser le contour des plaines. Elles pourraient être supprimées si nécessaire.	

Création de la plaine Inondable (2)

Permet de créer les plaines inondables associées au(x) débit(s) spécifié(s) en se servant des paramètres calculés en utilisant l'outil *Calcul des paramètres* et d'un modèle numérique de terrain.

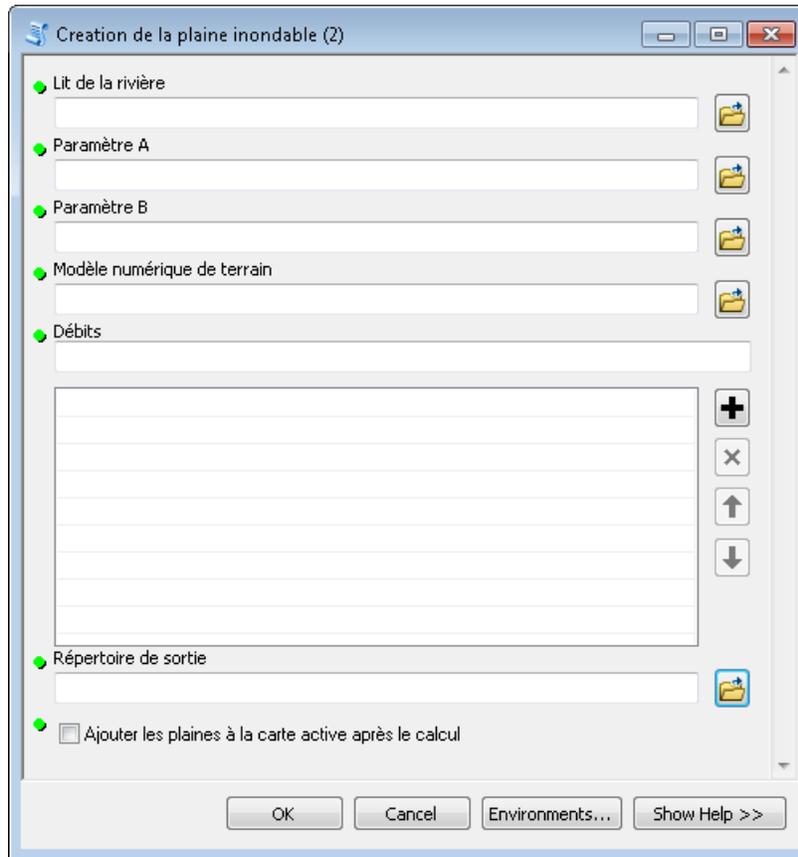


Figure 24 Boîte de dialogue de l'outil *Création de la plaine Inondable (2)*

Tableau 33 Description des paramètres de l'outil *Création de la plaine Inondable (2)*

Paramètres	Description
Lit de la rivière	Fichier contenant le lit de la rivière, soit sous la forme de sa ligne centrale, soit le polygone représentant la rivière
Paramètre Alpha	Paramètre alpha déterminé par l'outil <i>Calcul des paramètres</i>
Paramètre Beta	Paramètre beta déterminé par l'outil <i>Calcul des paramètres</i>
Modèle numérique de terrain	Modèle numérique de terrain couvrant le domaine d'étude
Débits	Débits à traiter
Répertoire de sortie	Répertoire dans lequel seront créées les matrices représentant les surfaces d'eau correspondant aux débits de l'hydrogramme
Ajouter les plaines à la carte active après le calcul	Détermine si l'outil ajoute les surfaces d'eau calculées à la carte suite aux traitements.

Tableau 34 Outils d'ArcGIS utilisés dans l'outil *Création de la plaine Inondable (2)*

Outils d'ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
Module Spatial Analyst	Spatial Analyst
Module Python Numpy	v1.6
Module Python Scipy	V0.9.0
RasterToPolygon_conversion	
MakeFeatureLayer_management	
SelectLayerByLocation_management	
PolygonToRaster_conversion	ArctInfo, Spatial Analyst ou 3D Analyst
Notes	
Des fonctions du module Scipy qui ne sont pas disponibles dans le module numpy sont utilisées. Ces fonctions relèvent de la morphologie mathématique et servent à lisser le contour des plaines. Elles pourraient être supprimées si nécessaire.	

Vulnérabilité directe

Permet l'évaluation de la vulnérabilité directe causée par l'aléa. Les vulnérabilités structurelles, fonctionnelles directes et intrinsèques sont évaluées.

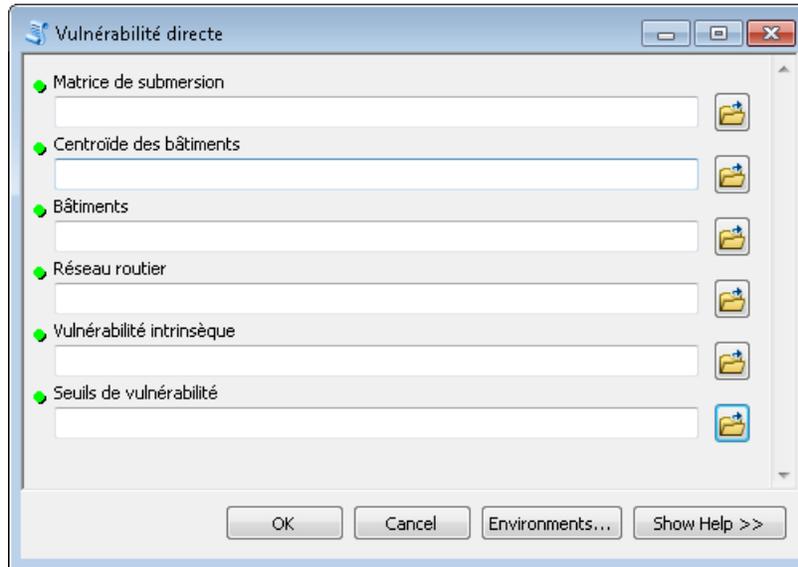


Figure 25 Boîte de dialogue de l'outil *Vulnérabilité directe*

Tableau 35 Description des paramètres de l'outil *Vulnérabilité directe*

Paramètres	Description
Matrice de submersion	Fichier matriciel contenant la zone inondée et la profondeur de submersion
Centroïde des bâtiments	Centroïde dérivé de la couche bâtiment
Bâtiments	Fichier contenant les bâtiments sous forme de polygones
Réseau routier	Réseau routier sous forme de réseau géométrique
Vulnérabilité intrinsèque	Polygones des AD avec la vulnérabilité intrinsèque en attribut
Seuils de vulnérabilité	Base de données contenant les tables avec les seuils de vulnérabilité

Tableau 36 Outils d’ArcGIS utilisés dans l’outil *Vulnérabilité directe*

Outils d’ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
Module Spatial Analyst	Spatial Analyst
RasterToPolygon_conversion	
MakeFeatureLayer_management	
SelectLayerByLocation_management	
ExtractValuesToPoints	Spatial Analyst
SelectLayerByAttribute_management	
CopyFeatures_management	
CreateFeatureclass_management	
AddField_management	
Densify_edit	ArcEditor, ArcInfo
FeatureVerticesToPoints_management	ArcInfo
Statistics_analysis	

Vulnérabilité complète partie 1

Permet l'évaluation d'une partie de la vulnérabilité causée par l'aléa. Les vulnérabilités structurelles et fonctionnelles directes sont évaluées. Les résultats sont sauvegardés dans un fichier qui sera repris à la partie 3.

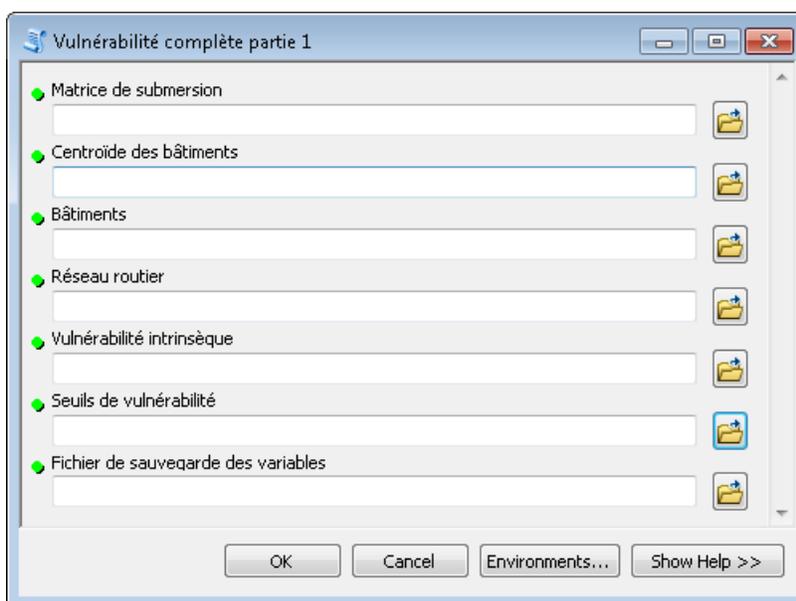


Figure 26 Boîte de dialogue de l'outil *Vulnérabilité complète partie 1*

Tableau 37 Description des paramètres de l'outil *Vulnérabilité complète partie 1*

Paramètres	Description
Matrice de submersion	Fichier matriciel contenant la zone inondée et la profondeur de submersion
Centroïde des bâtiments	Centroïde dérivé de la couche bâtiment
Bâtiments	Fichier contenant les bâtiments sous forme de polygones
Réseau routier	Réseau routier sous forme de réseau géométrique
Vulnérabilité intrinsèque	Polygones des AD avec la vulnérabilité intrinsèque en attribut
Seuils de vulnérabilité	Base de données contenant les tables avec les seuils de vulnérabilité
Fichier de sauvegarde des variables	Fichier dans lequel sera sauvegardé les éléments nécessaires à la réalisation de la partie 3

Tableau 38 Outils d’ArcGIS utilisés dans l’outil *Vulnérabilité complète partie 1*

Outils d’ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
Module Spatial Analyst	Spatial Analyst
RasterToPolygon_conversion	
MakeFeatureLayer_management	
SelectLayerByLocation_management	
ExtractValuesToPoints	Spatial Analyst
SelectLayerByAttribute_management	
Densify_edit	ArcEditor, ArcInfo
FeatureVerticesToPoints_management	ArcInfo
Statistics_analysis	

Vulnérabilité complète partie 3

Permet de finaliser l'évaluation de la vulnérabilité causée par l'aléa en évaluant la vulnérabilité indirecte causé par le réseau routier de même que la vulnérabilité intrinsèque. Les résultats des vulnérabilités structurelles et fonctionnelles directes sont récupérés du fichier de sauvegarde de la partie 1.

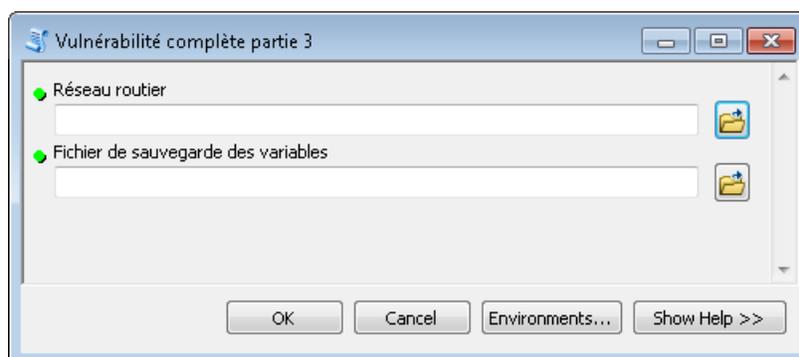


Figure 27 Boîte de dialogue de l'outil *Vulnérabilité complète partie 3*

Tableau 39 Description des paramètres de l'outil *Vulnérabilité complète partie 1*

Paramètres	Description
Réseau routier	Réseau routier sous forme de réseau géométrique dont les segments non fonctionnels et les segments isolés sont sélectionnés
Fichier de sauvegarde des variables	Fichier dans lequel ont été sauvegardés les résultats de la partie 1

Tableau 40 Outils d’ArcGIS utilisés dans l’outil *Vulnérabilité complète partie 3*

Outils d’ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
Module Spatial Analyst	Spatial Analyst
MakeFeatureLayer_management	
GetCount_management	
SelectLayerByLocation_management	
SelectLayerByAttribute_management	
CopyFeatures_management	
CreateFeatureclass_management	
AddField_management	

Plaine inondable et vulnérabilité

Cet outil permet de créer la plaine inondable associée au débit spécifié en se servant des paramètres calculés en utilisant l'outil *Calcul des paramètres* et d'un modèle numérique de terrain. Il évalue ensuite la vulnérabilité causé par cet aléa.

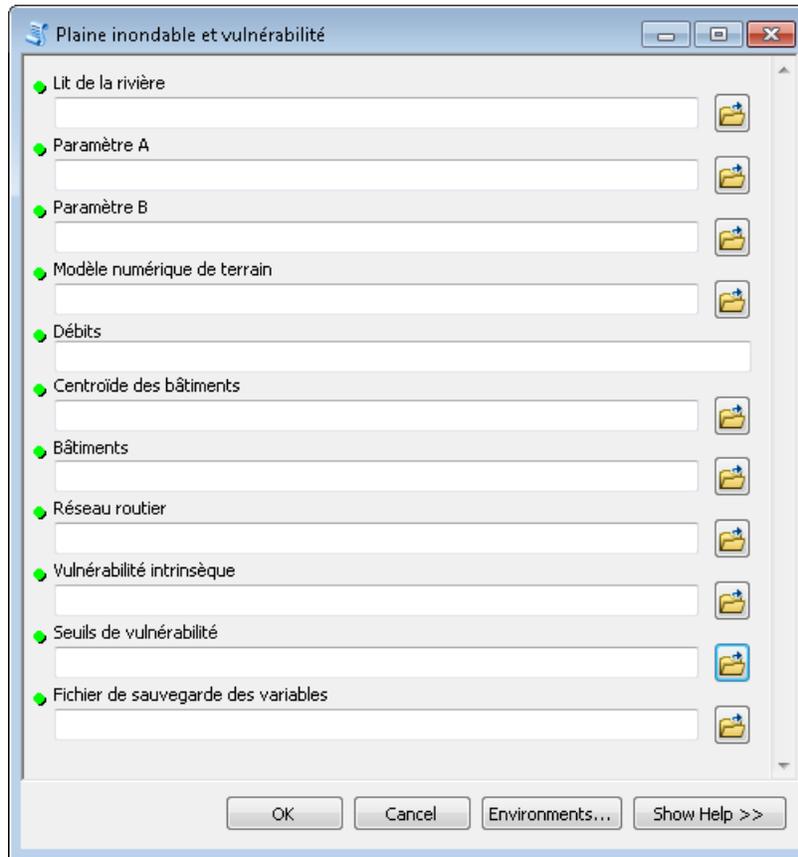


Figure 28 Boîte de dialogue de l'outil *Plaine inondable et vulnérabilité*

Tableau 41 Description des paramètres de l'outil *Plaine inondable et vulnérabilité*

Paramètres	Description
Lit de la rivière	Fichier contenant le lit de la rivière, soit sous la forme de sa ligne centrale, soit le polygone représentant la rivière
Paramètre Alpha	Paramètre alpha déterminé par l'outil <i>Calcul des paramètres</i>
Paramètre Beta	Paramètre beta déterminé par l'outil <i>Calcul des paramètres</i>
Modèle numérique de terrain	Modèle numérique de terrain couvrant le domaine d'étude
Débits	Débits à traiter
Centroïde des bâtiments	Centroïde dérivé de la couche bâtiment
Bâtiments	Fichier contenant les bâtiments sous forme de polygones
Réseau routier	Réseau routier sous forme de réseau géométrique
Vulnérabilité intrinsèque	Polygones des AD avec la vulnérabilité intrinsèque en attribut
Seuils de vulnérabilité	Base de données contenant les tables avec les seuils de vulnérabilité
Fichier sauvegarde de des variables	Fichier dans lequel sera sauvegardé les éléments nécessaires à la réalisation de la partie 3

Tableau 42 Outils d’ArcGIS utilisés dans l’outil *Plaine inondable et vulnérabilité*

Outils d’ArcGIS utilisés	Contrainte(s)
Module Spatial Analyst	Spatial Analyst
Module Python Numpy	v1.6
Module Python Scipy	V0.9.0
RasterToPolygon_conversion	
MakeFeatureLayer_management	
SelectLayerByLocation_management	
PolygonToRaster_conversion	ArcInfo, Spatial Analyst ou 3D Analyst
ExtractValuesToPoints	Spatial Analyst
Densify_edit	ArcEditor, ArcInfo
FeatureVerticesToPoints_management	ArcInfo
Statistics_analysis	
GetCount_management	
SelectLayerByAttribute_management	
CopyFeatures_management	
CreateFeatureclass_management	
AddField_management	
Notes	
Des fonctions du module Scipy qui ne sont pas disponibles dans le module numpy sont utilisées. Ces fonctions relèvent de la morphologie mathématique et servent à lisser le contour des plaines. Elles pourraient être supprimées si nécessaire.	