

CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES SUR LE TERRITOIRE DE NANTES METROPOLE POUR L'ELABORATION DU PLU METROPOLITAIN

PHASE 1

COLLECTE, ANALYSE ET MISE EN FORME DES DONNEES EXISTANTES

RAPPORT

Affaire n° : 16-412-01			
Version	Date	Rédigé par	Vérifié par
0	22/03/2016	Quentin Strappazon	Arnaud Koch
0.1	08/04/2016	Quentin Strappazon	Arnaud Koch
0.2	19/05/2016	Quentin Strappazon	Arnaud Koch
Remarques :			

SOMMAIRE

Sommaire	2
Listes des Figures.....	3
Listes des tables.....	3
1 Introduction.....	4
1.1 Contexte de la mission	4
1.2 Objectifs de la phase 1 « Collecte, Analyse et mise en forme des données existantes ».....	5
1.3 Structuration du rapport	5
1.4 Synthèse	5
2 Caractéristiques et contraintes du territoire d'étude	7
3 Collecte et analyse critique des données existantes.....	13
3.1 Données relatives à la connaissance du risque d'inondation sur le territoire de Nantes Métropole	13
3.1.1 Les différentes sources de données disponibles.....	13
3.1.2 Interprétation et fiabilité des informations existantes	21
.....	29
3.2 Données relatives à la réalisation de la phase 2	29
3.2.1 Sources de données topographiques	30
3.2.2 La question des obstacles aux écoulements	31
3.2.3 Les pluies de projets	36
4 Structuration de la base de données bibliographique et spatiale	43
4.1 Présentation de la base de données	43
4.2 Base de données bibliographique	43
4.3 Base de données spatiales	44
4.4 Projets SIG	45
4.5 Description du format et de la structuration des couches SIG produites dans le cadre de l'étude	46
ANNEXE 1 : FICHES ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES.....	48

LISTES DES FIGURES

Figure n° 1 Délimitation du périmètre d'étude global (en vert) et du territoire de Nantes Métropole (en violet) .7	7
Figure n° 2 Délimitation des principaux sous-bassins versants du territoire de Nantes Métropole (en rouge).....10	10
Figure n° 3 Occupation des sols du territoire d'étude (Source : Corinne LandCover)11	11
Figure n° 4 Classification des pentes du bassin versant.....12	12
Figure n° 5 Exploitation des différentes sources de données.....22	22
Figure n° 6 Densité d'information historique et localisation des principales zones de désordres.....26	26
Figure n° 7 Légende des cartographies de synthèse sur les inondations.....27	27
Figure n° 8 Exemple de la cartographie de synthèse des zones inondables de la commune de Saint-Jean-de-Boisseau.....28	28
Figure n° 9 Plateforme cartographique en ligne dédiée à l'étude29	29
Figure n° 10 Modèle numérique de terrain reconstitué à l'échelle du périmètre d'étude30	30
Figure n° 11 Illustration de l'adaptation automatique du maillage aux formes de la topographie sur le bassin versant de l'Erdre31	31
Figure n° 12 Résultats d'un premier test de simulation des écoulements sur le sous bassin versant de l'Erdre...33	33
Figure n° 13 Identification (en rouge) de quelques zones d'accumulation liées à l'absence d'ouvrages de passage dans le modèle au droit de la voie ferrée ou des remblais autoroutier à Saint-Etienne-de-Monluc34	34
Figure n° 14 Détection des talus et remblais présents sur le territoire de Nantes Métropole qui permet d'identifier rapidement des zones de blocage et donc des points de passages potentiels.....36	36
Figure n° 15 Hyétoigrammes des pluies de projet double triangle centennales estivales 4 heures (durée totale) – 15 et 30 minutes (durée intense).....37	37
Figure n° 16 Hyétoigrammes des pluies de projet centennales hivernales double rectangle sur une durée totale 24 h et double triangle sur une durée totale de 12 heures et une durée intense de 6 heures.....38	38
Figure n° 18 Hyétoigramme de la pluie du 27 juillet 2013 au Pellerin (la Jaunaie).....39	39
Figure n° 19 Hyétoigramme de la pluie du 24 décembre 2013 à Thouaré-sur-Loire (Belle étoile) et à Nantes (Dervalières)40	40
Figure n° 20 Hyétoigramme de la pluie de projet de forme juillet 201341	41
Figure n° 21 Hyétoigramme de la pluie de projet de forme juillet 201341	41
Figure n° 22 Structure globale de la base de données.....43	43
Figure n° 23 Structure de la base bibliographique44	44
Figure n° 24 Structure de la base SIG45	45
Figure n° 25 Structure du dossier Projets SIG46	46

LISTES DES TABLES

Tableau n° 1 Caractéristiques des communes de Nantes Métropole (Source : Site Internet de Nantes Métropole)8	8
Tableau n° 2 Synthèse des études collectées et analysées.....17	17
Tableau n° 3 Priorisation entre les différentes procédures sur les zones de recouvrement.....24	24
Tableau n° 4 Description des différents gabarits d'ouvrages (Source : Nantes Métropole).....35	35
Tableau n° 5 Quantiles statistiques de période de retour T= 100 ans sur des durées de 6 min à 192 h utilisés pour construire les pluies de projet (Source : Météo-France).....37	37
Tableau n° 6 Listing des principales couches SIG qui seront produits dans le cadre de l'étude.....46	46
Tableau n° 7 Structure des tables attributaires des couches SIG.....47	47

INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE LA MISSION

Nantes Métropole, dont l'action dans le domaine de la prévention des risques d'inondation vient en complément des études entreprises par l'État et visant à recenser le risque d'inondation par débordement de cours d'eau (PPRi, AZI et TRI), souhaite profiter de l'élaboration en cours du PLU intercommunal sur les 24 communes concernées pour améliorer la prise en compte du risque d'inondation et de la préservation des milieux aquatiques dans l'urbanisme et l'aménagement du territoire.

A cet effet, Nantes Métropole souhaite pouvoir disposer d'une délimitation exhaustive et complète des zones exposées à un risque d'inondation, à la fois par débordement de cours d'eau mais également par ruissellement des eaux pluviales. Cela sous-entend d'enrichir la connaissance actuellement partielle du risque d'inondation en réalisant **une modélisation** des phénomènes de ruissellement et de débordement, sur tous les bassins versants alimentant le territoire de Nantes Métropole et en venant ensuite compiler les résultats de cette modélisation avec les zonages inondations existants (PPRi, AZI, TRI, études hydrauliques locales, etc.).

Au travers de cette mission, Nantes Métropole souhaite uniformiser sa base de connaissance sur les risques d'inondation de son territoire, comprendre le fonctionnement hydraulique de chacun des bassins versants identifiés et produire **une emprise unique des zones inondables**.

Au niveau des secteurs urbanisés ou à urbaniser dans le futur, fortement vulnérables du fait de la densité d'enjeux présents (humains, économiques ou environnementaux), les zones inondables devront être discriminées selon différents niveaux d'aléa qui permettront de les hiérarchiser en fonction de la gravité du risque encouru et de la nature de ce risque (production, écoulement ou accumulation).

Enfin, Nantes Métropole souhaite exploiter ce zonage d'aléa pour définir dans le futur règlement du PLU métropolitain des prescriptions qui soient adaptées au degré d'exposition des différents secteurs à risque et aux phénomènes rencontrés.

La présente mission, confiée à Prolog Ingénierie en janvier 2016, se décompose en 4 phases successives :

☞ **une première phase (PHASE 1), consacrée à la collecte, l'analyse et la mise en forme de l'ensemble des données liées aux inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement sur le territoire de Nantes Métropole (zonages inondation existants, études antérieures, localisation des désordres, etc.) ;**

☞ une seconde phase (PHASE 2), dédiée à la modélisation des phénomènes d'inondation sur les versants, les petits talwegs et les cours d'eau permanents et non permanents non couverts par des procédures existantes.

A l'issue de cette phase, Nantes Métropole disposera d'une délimitation globale et unique des zones inondables par débordement et par ruissellement à l'échelle du territoire d'étude, en couplant les résultats de modélisation aux zonages inondation existants (PPRi, AZI, TRI et études locales) ;

☞ la troisième phase (PHASE 3) vise, au niveau des secteurs urbanisés et à urbaniser, à associer à ces zones inondables un niveau d'aléa permettant de qualifier la gravité et la nature des mécanismes d'inondation (en distinguant les zones de production, d'accumulation et d'écoulement). Les zones de production seront également priorisées en fonction des enjeux qu'elles contribuent à alimenter directement ;

- ↪ enfin, une quatrième et dernière phase (PHASE 4), consacrée au croisement aléas-enjeux et à une réflexion sur les objectifs de prévention et prescriptions qui pourront être associés à chacune de ces zones à risque dans le cadre du futur règlement du PLU métropolitain.

Le présent rapport traite de la phase 1 de l'étude.

1.2 OBJECTIFS DE LA PHASE 1 « COLLECTE, ANALYSE ET MISE EN FORME DES DONNEES EXISTANTES »

L'objectif principal de la phase 1 de l'étude est de collecter, analyser et restituer l'ensemble des informations existantes sur le risque d'inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement à l'échelle du territoire de Nantes Métropole. La première étape consiste en une analyse bibliographique critique des différentes sources de données, mettant en évidence leurs domaines de validité et leurs limites respectives. L'ensemble des informations collectées est hiérarchisé au sein d'une base de données à la fois bibliographique et spatiale.

Le travail réalisé au cours de cette phase doit permettre de figer sur une première cartographie l'état de connaissance actuel du risque d'inondation au sein de Nantes Métropole, qu'il s'agisse de désordres recensés, de crues historiques reconstituées ou de zones inondables de référence, délimitées numériquement pour un événement d'occurrence donnée (10, 30, 100 ou encore 1000 ans).

Enfin, l'examen des données liées aux caractéristiques intrinsèques des bassins versants et climatiques (topographie, structure des réseaux de transport, localisation des remblais et des ouvrages, statistiques pluviométriques) permet d'affiner la méthodologie de construction du modèle de simulation des écoulements proposée initialement et les hypothèses hydrologiques (événement de référence à modéliser).

1.3 STRUCTURATION DU RAPPORT

Le présent rapport se décompose de la manière suivante :

- ↪ un premier chapitre introductif rappelant le contexte et les objectifs globaux et ciblés de l'étude, ainsi que synthétisant son contenu ;
- ↪ une seconde partie dédiée à une description des caractéristiques physiques et des contraintes du territoire d'étude ;
- ↪ un troisième chapitre consacré à la synthèse de la collecte et de l'analyse des données existantes, qu'elles soient relatives aux inondations ou aux caractéristiques physiques et pluviométriques de la zone d'étude ;
- ↪ enfin, une dernière partie décrivant la structuration de la base de données et des différentes thématiques SIG qui seront produites au cours de l'étude.

1.4 SYNTHESE

La phase 1 a permis de collecter et d'analyser l'ensemble des données existantes (études, rapports, cartes, couches SIG) relatives à la problématique d'inondation du territoire (par débordement de cours d'eau ou par ruissellement).

Une analyse bibliographique critique des différentes sources de données a conduit à les classer par procédure : PPRi, TRI, AZI et études locales et à distinguer d'une part les emprises inondables de référence qui constituent la délimitation la plus fiable des zones inondables pour un événement centennal le long des principaux cours d'eau (Loire, Erdre, Sèvre notamment), et d'autre part, les informations historiques qui permettront de valider le comportement du modèle hydraulique en phase 2 sur les secteurs non encore étudiés.

Ce travail de collecte et d'analyse est restitué sous la forme de cartographies de synthèse communales au 1/17 000^e et à l'échelle de Nantes Métropole au 1/37 000^e ainsi que via une plateforme cartographique en ligne qui est également un outil de concertation en vue des prochaines phases de l'étude.

La phase 1 a également permis d'entamer la phase de construction du modèle hydraulique et d'affiner certains aspects méthodologiques notamment :

- ↳ en produisant un Modèle Numérique de Terrain (MNT) couplant le MNT de Nantes Métropole et le MNT de la BD TOPO de l'IGN sur les versants amont ;
- ↳ d'inventorier l'ensemble des sources disponibles concernant la localisation et les dimensions des ouvrages de passage sous remblais ou au sein des cours d'eau ;
- ↳ de construire les pluies de projet centennales, théoriques ou basées sur des pluies réelles, estivales ou hivernales, qui seront simulées en phase 2.

Enfin, une base de données intégrée, comportant à la fois une section bibliographique et une section géographique permet de hiérarchiser et de mobiliser facilement l'ensemble des données collectées ou produites dans le cadre de l'étude.

2 CARACTERISTIQUES ET CONTRAINTES DU TERRITOIRE D'ETUDE

La caractérisation des zones inondables, par débordement de cours d'eau et par ruissellement, objet de la présente étude, s'étend à l'ensemble du territoire de Nantes Métropole, soit une superficie totale de 523 km² englobant 24 communes et regroupant 600 km de cours d'eau dont la Loire, l'Erdre et la Sèvre.

Le périmètre de la future modélisation des écoulements est en réalité plus étendu puisqu'il inclut également l'ensemble des versants, hors territoire de Nantes Métropole mais qui l'alimentent et doivent donc être pris en compte dans l'analyse hydrologique.

Figure n° 1 Délimitation du périmètre d'étude global (en vert) et du territoire de Nantes Métropole (en violet)

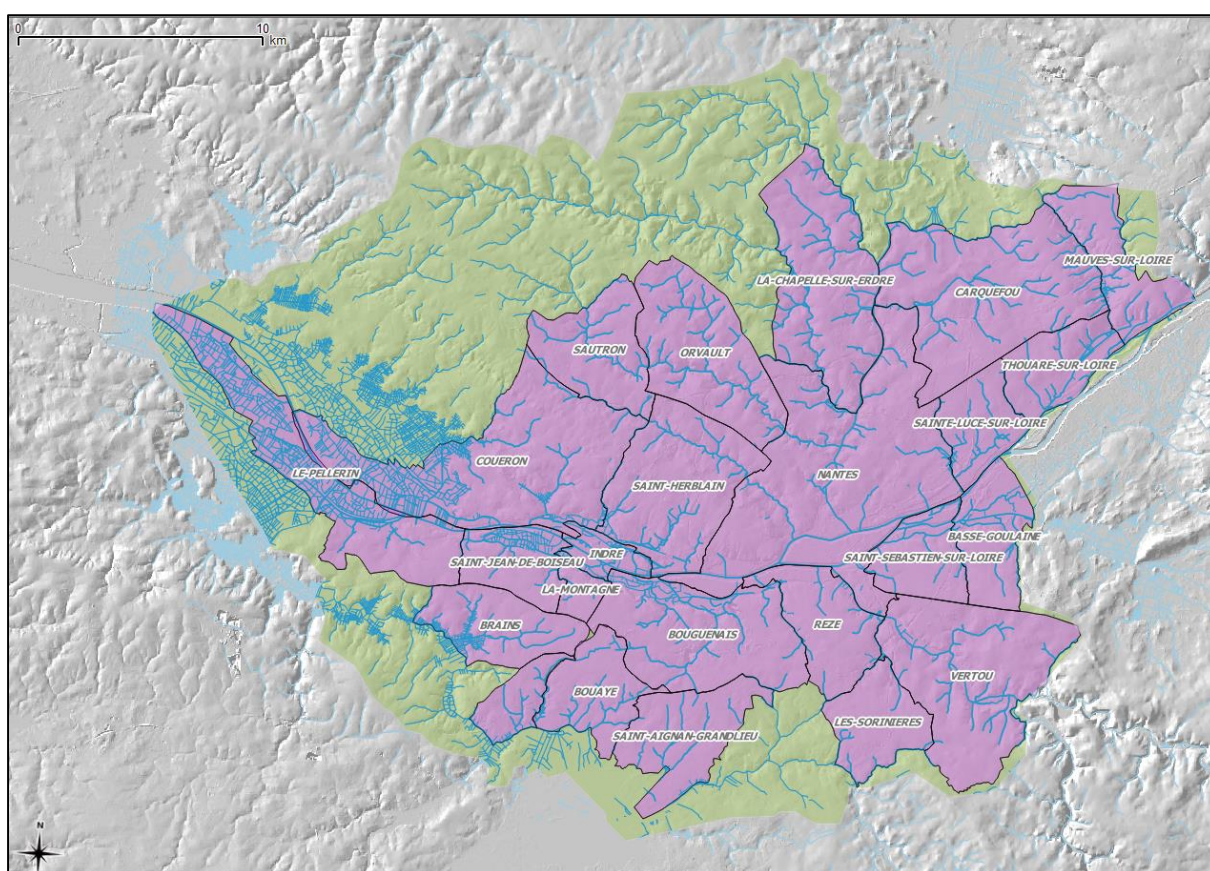


Tableau n° 1 Caractéristiques des communes de Nantes Métropole (Source : Site Internet de Nantes Métropole¹)

Communes	Nombre d'habitants	Superficie (ha)	Nombre de logements
Basse Goulaine	8 255	1 374	2 820
Bouaye	6 172	1 383	2 120
Bouguenais	18 899	3 150	7 454
Brains	2 647	1 531	/
Carquefou	18 242	4 342	6 100
Couëron	19 085	4 403	7 815
Indre	4 006	472	1 796
La Chapelle-sur-Erdre	17 300	3 342	/
La Montagne	6 114	364	2 496
Le Pellerin	4 873	3 065	/
Les Sorinières	7 890	1 302	3 330
Mauves-sur-Loire	3 169	1 475	1 264
Nantes	296 027	6 519	157 782
Orvault	25 142	2 767	10 228
Rezé	39 145	1 543	18 010
Saint-Aignan de Grand Lieu	3 857	1 794	/
Saint-Herblain	44 734	3 000	20 563
Saint-Jean-de-Boisseau	5 300	1 140	2 200
Saint-Léger-les-Vignes	1 403	700	/
Saint-Sébastien-sur-Loire	26 118	1 165	/
Sainte-Luce-sur-Loire	14 170	1 145	/
Sautron	7 095	1 682	/
Thouaré-sur-Loire	8 917	1 276	3 360
Vertou	22 004	1 276	3 315

Remarque : Les chiffres présentés dans le tableau ci-dessus sont tirés du site internet de Nantes Métropole dont la dernière mise à jour date du 12 février 2016. Le nombre de logement n'est pas systématiquement indiqué dans les informations relatives aux différentes communes du territoire.

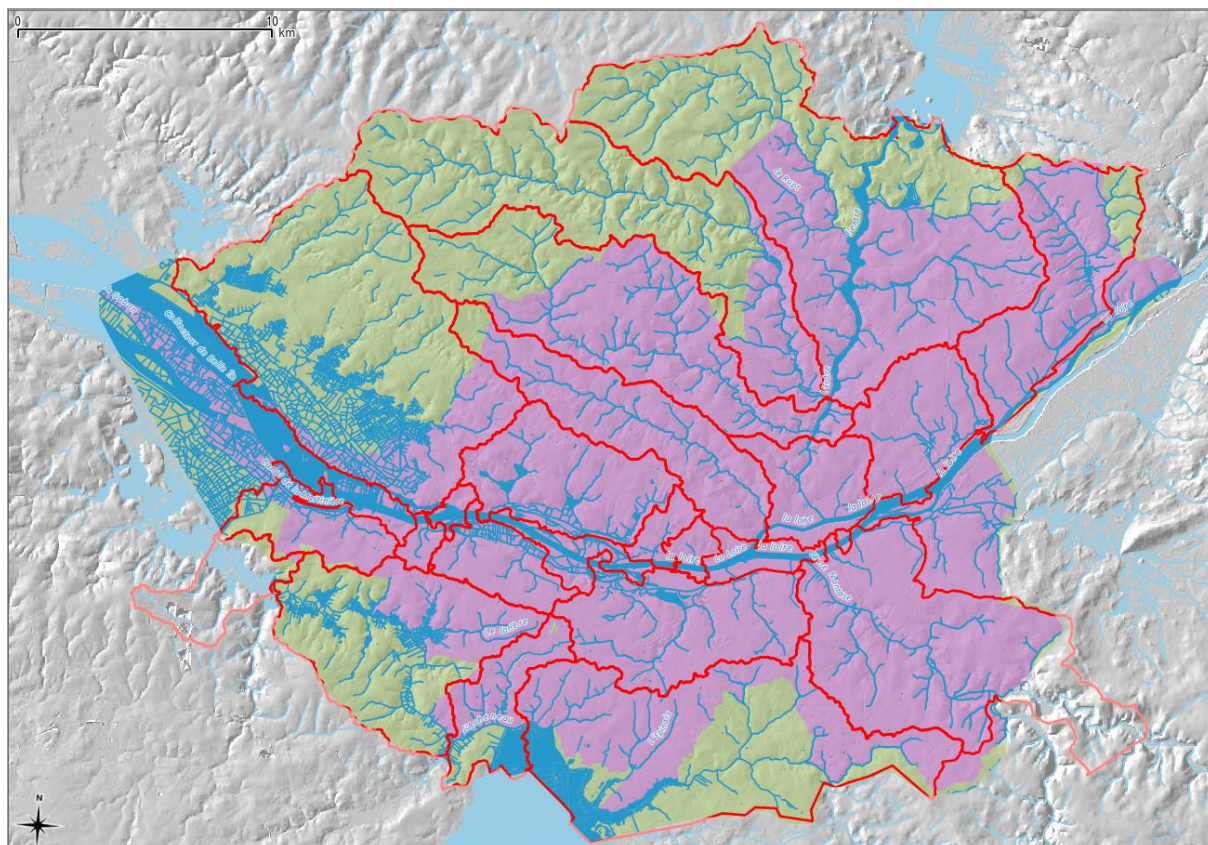
En termes de fonctionnement hydraulique, le découpage du territoire en sous bassins versant homogènes permet de mettre en évidence les principales branches du réseau hydrographique qui alimentent et traversent le périmètre de Nantes Métropole avec notamment :

- ↗ le ruisseau de **la Chalandière** (ruisseau le Gobert à l'aval) qui s'écoule au nord de la Loire, à la limite des communes de Mauves-sur-Loire et de Carquefou, et se jette dans la Loire de Mauves ;
- ↗ différents petits affluents sur le versant droit de la Loire dont **le Pré-Poulain** ou encore **l'Aubinière** ;

¹ <http://www.nantesmetropole.fr/institution-metropolitaine/24-communes/>

- ↪ le bassin de l'**Erdre**, affluent majeur de la Loire en rive droite, qui est lui alimenté par plusieurs cours d'eau :
 - le **Cens**, qui prend sa source sur la commune de Vigneux de Bretagne et rejoint l'Erdre à Nantes ;
 - le **Gesvres** qui s'écoule sur environ 25 km depuis sa source à Vigneux de Bretagne jusqu'à sa confluence avec l'Erdre, à la limite des communes de Nantes de la Chapelle sur l'Erdre ;
 - en rive gauche de l'Erdre, le **Charbonneau** constitue également un affluent important au niveau de la commune de Carquefou ;
- ↪ en aval de la confluence Loire-Erdre, on retrouve sur le versant nord de la Loire plusieurs petits affluents (la Chézine, Beaulieu, Paclais, Orevière, Johardière) ;
- ↪ sur le versant sud de la Loire, se distingue évidemment le bassin versant de la **Sèvre Nantaise**, alimentée en rive gauche par les eaux de ruissellement et ruisseaux provenant des communes de Vertou, Rezé et des Sorinières ;
- ↪ au sud de la Loire, on distingue ensuite :
 - les versants alimentant directement la Loire, notamment à Bouguenais avec le ruisseau de la Basse-Bouguignière, le Bougon ou encore le Chaffault ;
 - les versants orientés vers le sud notamment à Saint-Léger-les-Vignes, Bouaye et Saint-Aignan-Grandlieu où les eaux de ruissellement et les ruisseaux alimentent le Lac de Grand-Lieu dont le niveau d'eau est régulé par le vannage de Bouaye. A noter également qu'à l'extrémité sud-ouest des communes de Rezé et des Sorinières, les eaux ruissellent vers l'Ognon, qui rejoint également le lac de Grand-Lieu, en traversant la commune de Pont-Saint-Martin. L'exutoire du lac est l'Acheneau, alimenté en partie par les versants de Brains et qui se jette dans la Loire.

Figure n° 2 Délimitation des principaux sous-bassins versants du territoire de Nantes Métropole (en rouge)

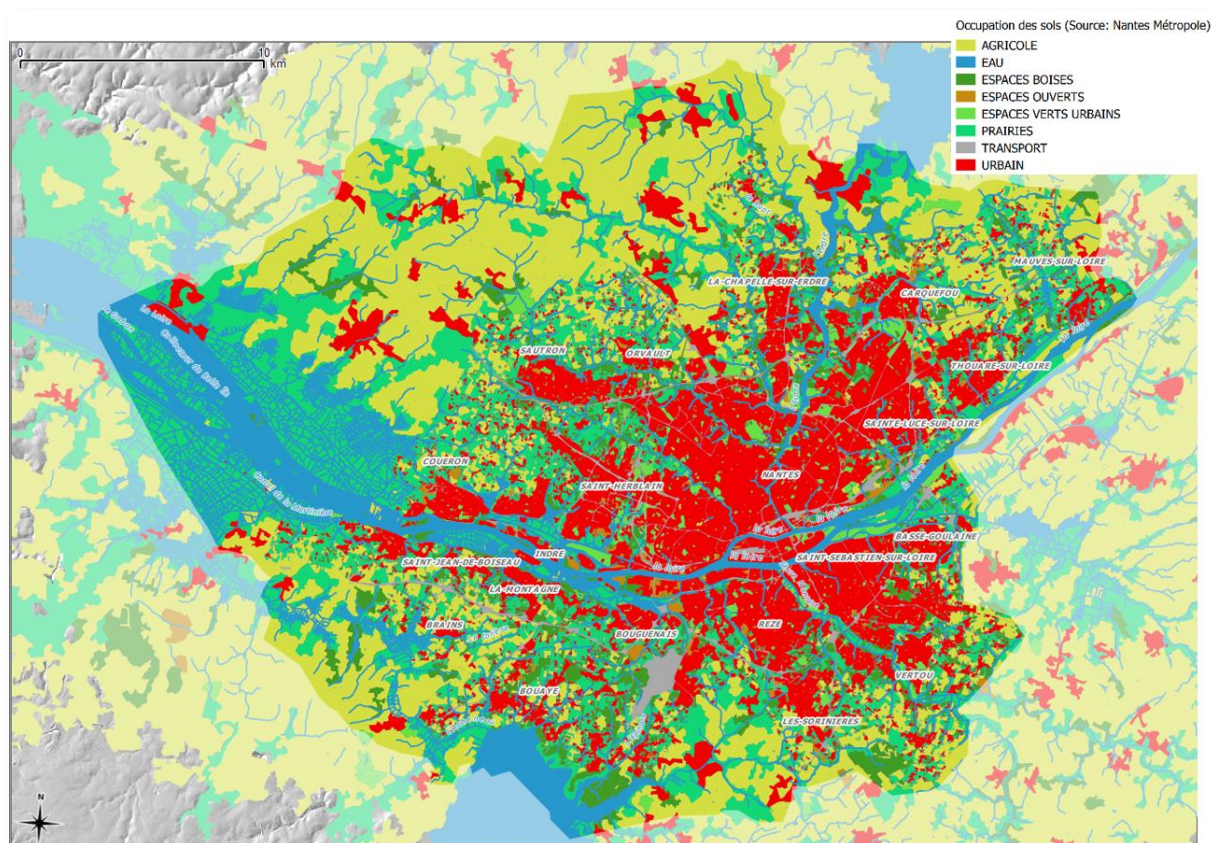


L'analyse de l'occupation des sols du bassin versant permet également de mettre en évidence deux aires principales :

- ↗ **un important secteur urbanisé et artificialisé** centré sur Nantes, au confluent de la Loire, de l'Erdre et de la Sèvre nantaise au niveau duquel vont se concentrer la majorité des enjeux et des zones exposées (on note également la présence de bourgs au niveau des versants) ;
- ↗ **des versants d'apports très majoritairement agricoles** (on recense quelques zones naturelles dispersées) au niveau desquels l'eau va ruisseler vers les fonds de vallons et talwegs et qui vont donc contribuer à la fois :
 - à générer des écoulements de surface qui vont se propager vers les zones habitées ;
 - à alimenter les cours d'eau dont les débits vont augmenter et qui pourront dès lors déborder et menacer des enjeux situés en lit majeur.

Au vu du caractère fortement agricole des versants et points hauts du bassin versant, une attention particulière devra être portée dans le modèle en phase 2 à une bonne représentation des phénomènes d'infiltration sur ces surfaces.

Figure n° 3 Occupation des sols du territoire d'étude (Source : Corinne LandCover)



Enfin, l'analyse des pentes du bassin versant permet d'identifier :

- ↗ les zones de faibles déclivités (en bleu) qui représentent l'emprise du lit majeur de la Loire au fond de la vallée mais également les lignes de crêtes et points hauts topographiques délimitant un versant d'un autre ;
- ↗ des secteurs à pente moyenne (en vert) au niveau desquels l'eau va commencer à ruisseler depuis les points hauts et prendre de la vitesse ;
- ↗ les zones de fortes pentes qui présenteront des vitesses d'écoulement importantes et qui forment l'encaissement des nombreux cours d'eau et affluents de la Loire, de l'Erdre et de la Sèvre.

3 COLLECTE ET ANALYSE CRITIQUE DES DONNEES EXISTANTES

3.1 DONNEES RELATIVES A LA CONNAISSANCE DU RISQUE D'INONDATION SUR LE TERRITOIRE DE NANTES METROPOLE

Le présent chapitre détaille l'ensemble des données relatives aux inondations du territoire de Nantes Métropole qui ont été collectées et analysées durant la phase 1. Comme explicité dans la partie introductive, l'objectif de Nantes Métropole est de disposer à la fin de l'étude **d'une cartographie unique des zones inondables par débordement de cours d'eau et par ruissellement pour un événement de référence centennal**, c'est-à-dire une superposition de l'emprise d'une crue centennale des principaux cours d'eau et des axes de ruissellement et zones d'accumulation produits par un épisode pluvieux centennal sur les versants.

La phase 1 constitue une première étape en vue de cet objectif puisqu'elle permet de dresser un état des lieux des zonages inondations existants à l'heure actuelle, uniquement liés à un risque de débordement de cours d'eau, et des désordres historiques recensés ces dernières années lors d'événements pluvieux impactant.

C'est donc bien une information de type géographique, au sens de qui peut être cartographiée, qui est principalement recherchée dans cette phase afin de produire à l'issue de la phase 1 **une cartographie synthétique de l'état actuel de connaissance du risque inondation sur le territoire de Nantes Métropole**. Les différentes études locales qui ont fait l'objet de calculs hydrologiques ou hydrauliques mais pour lesquelles des supports cartographiques (couches SIG) ne sont pas disponibles ou n'existent pas ne sont pas réellement exploitables dans le cadre de la présente étude. C'est la raison pour laquelle l'analyse bibliographique réalisée s'est concentrée sur les études ayant produit des résultats cartographiques, à quelques exceptions près.

3.1.1 Les différentes sources de données disponibles

Sont listées dans cette section les différentes études analysées en vue de synthétiser l'état de connaissance actuel du risque d'inondation.

Ces études sont regroupées par procédure et/ou par source :

↳ les études produites par les services de l'État :

- **les Plans de Préventions des Risques d'Inondation (PPRI)**, réalisés sous pilotage des services de l'Etat (DDTM), qui représentent la procédure de référence en matière de prévention des risques d'inondation pour réglementer l'usage des sols et réduire la vulnérabilité des bâtis et équipements existants. Un PPRI constitue une servitude d'urbanisme et se base sur l'aléa de référence pour la crue centennale, défini soit par une modélisation hydraulique, soit sur la base de la plus forte crue historique connue, si celle-ci correspond à l'occurrence centennale.

Trois PPRI couvrent le territoire de Nantes Métropole :

- le PPRI de la Loire amont ;
- le PPRI de la Loire Aval ;

- le PPRI de la Sèvre Nantaise ;
- l'identification des **Territoires à Risque Important d'Inondation (TRI)**, réalisé dans le cadre de la directive européenne 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation. Dans le cadre des TRI sont notamment reconstituées, par l'intermédiaire d'un modèle hydraulique, trois emprises inondables : celle d'une crue fréquente (T = 10-30 ans), d'une crue moyenne (T= 100 ans) et d'une crue extrême (T = 1000 ans). Onze communes de Nantes métropole ont été désignées TRI. Les cartographies pour les 3 occurrences de crues citées englobent notamment la Loire aval, l'aval de l'Erdre et l'aval de la Sèvre Nantaise ;
- les **Atlas des Zones Inondables (AZI)**, élaborés par les services de l'Etat (DDTM ou DREAL, ont pour objet de rappeler l'existence et les conséquences des événements historiques et de montrer les caractéristiques des aléas pour la crue de référence choisie, qui est la plus forte crue connue, ou la crue centennale si celle-ci est supérieure. L'AZI n'a pas de caractère réglementaire.

Quatre AZI sont disponibles sur le secteur d'étude :

- l'AZI de l'estuaire de la Loire ;
- l'AZI de l'Erdre qui comprend également une reconstitution de l'emprise de certaines crues historiques;
- l'AZI de la Loire Aval ;
- l'AZI de Grandlieu.

Concernant la Sèvre nantaise et la Loire Amont, les Atlas des Zones Inondables ont servi de base à l'élaboration des deux PPRI. Sur la Loire aval spécifiquement, l'AZI peut constituer une source d'information complémentaire intéressante si on cherche à connaître les niveaux atteints lors d'événements historiques, dans la mesure où le PPRI a été élaboré sur la base d'une modélisation hydraulique.

↳ les études produites ou données fournies par Nantes Métropole:

- **les études hydrauliques locales :**
 - de la Chézine ;
 - du Cens ;
 - de l'Aubinière ;
 - du Pré-Poulain
- **un recensement des désordres historiques** ponctuels ou étendus, liés à des phénomènes de débordement ou de ruissellement, connus de la Direction du Cycle de l'Eau et des différents pôles de proximité de Nantes Métropole, et complétés le cas échéant par les communes via la plateforme cartographique en ligne (voir plus loin);
- **les informations contenues dans les bases de données de réclamations et d'intervention de Nantes Métropole :** il s'agit des bases de données OASIS (réclamations liées à des inondations ou débordements entre le 1^{er} janvier 2004 et le

1^{er} mars 2016) et CRAIOL (inondations de voirie signalées entre le 1^{er} janvier 2013 et le 31 décembre 2015).

Il convient à travers ces différentes études de distinguer deux types de données qui seront exploitées à des fins différentes dans la suite de la mission :

- ↳ *les emprises inondables* correspondant à une crue d'occurrence donnée, reconstitués par modélisation hydraulique (PPri, TRI, études locales) ou par une approche hydrogéomorphologique (AZI). Trois cas de figure sont dès lors possible :
 - **la crue reconstituée a une période de retour inférieure à 100 ans (études locales) :** 10 ou 30 ans par exemple. Ces emprises ne sont donc pas suffisamment étendues puisque Nantes Métropole souhaite disposer d'une vision globale des zones inondables pour un événement centennal. La quantification et la cartographie du risque sur ces secteurs découlera donc directement des résultats du modèle hydraulique qui sera mis en place en phase 2. En revanche, ces emprises plus courantes sont intéressantes en vue de la validation des résultats de modélisation, qui devront a minima reproduire les inondations sur ces secteurs ;
 - **la crue reconstituée a une période de retour 100 ans :** c'est le cas des procédures PPri, de la crue moyenne du TRI, des emprises du lit majeur des AZI (considéré comme équivalent à une centennale), ainsi que de certaines études locales (Cens 2006, Chézine 2011, Pré Poulain 2003). Ces emprises pourront donc être retenues comme donnée de référence dans la cartographie de synthèse finale des zones inondables. Dans le cas de figure où un cours d'eau serait couvert par différentes procédures ayant conduit à produire une emprise centennale (par exemple, le TRI et l'AZI sur l'Erdre), une priorisation devra être mise en place (en phase 2) afin de retenir l'emprise la plus pertinente. Concernant les études locales, elles pourront être retenues comme donnée de référence sous réserve que le comparatif avec les résultats de la présente étude en phase 2 se révèle cohérent et homogène
 - **la crue reconstituée a une période de retour supérieure à 100 ans :** sont concernés la crue extrême du TRI et les emprises des lits majeurs exceptionnels des AZI de l'Erdre, de GrandLieu, de l'estuaire de la Loire et de la Loire Aval. Ces emprises ne seront pas exploitées dans le cadre de la présente étude car correspondant à des événements extrêmes exceptionnels. Les études ayant produit ce type d'emprises sont identifiées dans les fiches bibliographiques
- ↳ *les reconstitutions de l'emprise des inondations historiques observées sur le territoire.* Il s'agit là directement d'une identification des secteurs inondés lors des épisodes de crues ou de fortes précipitations passées. Ces informations peuvent prendre plusieurs formes : des emprises de crue reconstituées comme dans l'AZI de l'Erdre ou la localisation de désordres ponctuels ou étendus, issus du retour d'expérience des différents pôles de proximité du territoire ou des bases de données de réclamation de Nantes Métropole (OASIS et CRAIOL). Dans tous les cas, ces données pourront être exploitées pour valider le comportement du modèle et ses résultats d'un point de vue qualitatif (on cherchera à reproduire les mêmes emprises, à vérifier que les zones de désordres sont bien mises en évidence par le modèle).

Le tableau ci-dessous, à mettre en lien avec les fiches bibliographiques générées pour chaque étude présentées en Annexe 1, synthétise les études et données exploitées et précise de quelle manière ces dernières pourront être exploitée dans la suite de l'étude.

Tableau n° 2 Synthèse des études collectées et analysées

Titre	Producteur	Date	Cours d'eau couverts	Données de référence directement exploitables pour cartographier les zones inondables	Données exploitables pour valider les résultats du modèle hydraulique de phase 2
PPRi de la Loire amont	DDTM44	Mars 2001	Loire amont	Emprise de la crue centennale	/
PPRi de la Loire aval	DDTM44	Mars 2014	Loire aval	Emprise de la crue centennale	/
PPRi de la Sèvre Nantaise	DDTM44	Décembre 1998	La Sèvre Nantaise	Emprise de la crue centennale	/
TRI du secteur de Nantes	DREAL Pays de la Loire	Mai 2014	Loire aval, Erdre et Sèvre Nantaise	Emprise de la crue moyenne	/
AZI de l'Erdre	DIREN Pays de la Loire	Août 2005	L'Erdre	Emprise du lit majeur (approche hydro-géomorphologique)	/
AZI de Grandlieu	DDE Loire Atlantique	Août 2008	Lac de Grandlieu, l'Acheneau	Emprise du lit majeur (approche hydro-géomorphologique)	/
AZI de l'Estuaire	DDTM44	Octobre 2013	Estuaire de la Loire aval	Emprise du lit majeur (approche hydro-géomorphologique)	/
AZI de la Loire aval	DDE Loire Atlantique	Décembre 2006	Loire aval	Emprise reconstituée en croisant la ligne d'eau de la crue de 1910 avec un modèle numérique de terrain	/
Etude hydraulique du franchissement de l'Aubinière, rue de l'Helvétie	Nantes Métropole	Octobre 2012	L'Aubinière en amont de la N844	/	/
Restauration de l'Aubinière – Étude complémentaire	Communauté Urbaine de Nantes	Juin 2002	L'Aubinière jusqu'au pont de la voie ferrée	/	Emprise de la crue T = 10 ans en situation actuelle (2002)

NANTES METROPOLE / PROLOG INGENIERIE

Cartographie des zones inondables sur le territoire de Nantes Métropole pour l'élaboration du PLU intercommunal

R_16_412_01_PHASE1_V0.1

Avril 2016

Titre	Producteur	Date	Cours d'eau couverts	Données de référence directement exploitables pour cartographier les zones inondables	Données exploitables pour valider les résultats du modèle hydraulique de phase 2
Etude hydraulique sur le Cens - Protection des habitations de l'avenue Félix Vincent	Nantes Métropole	Août 2004	Le Cens au droit de l'avenue Félix Vincent	/	Emprise de la crue T = 30 ans en situation actuelle (2004)
Etude hydraulique complémentaire sur le Cens – Création d'une digue en amont du périphérique	Nantes Métropole	Avril 2006	Le Cens en amont du périphérique et le ruisseau de la Rousselière	Emprise centennale en situation aménagée (2006)	/
Etude hydraulique de la mise à l'air libre du Gesvres aux abords du périphérique Nantais	Nantes Métropole / DDTM44/ DREAL Pays de la Loire / Département Loire Atlantique et DIR OUEST	Novembre 2015	Le Gesvres, de l'autoroute à la jonction avec l'Erdre	/	/
Etude hydraulique complémentaire du ruisseau de la Chézine	Nantes Métropole	Juillet 2011	La Chézine	Emprise centennale	/

Titre	Producteur	Date	Cours d'eau couverts	Données de référence directement exploitables pour cartographier les zones inondables	Données exploitables pour valider les résultats du modèle hydraulique de phase 2
Etude hydraulique du ruisseau du Pré-Poulain	Nantes Métropole	Juin 2003	Ruisseau du Pré-Poulain	Emprise centennale en état actuel (2003)	/
Etude hydraulique complémentaire du ruisseau du Pré-Poulain	Nantes Métropole	2007	Ruisseau du Pré-Poulain	/	/
Retour d'expérience des pôles de proximité sur les inondations	Nantes Métropole	2015	Ensemble du territoire de Nantes Métropole	/	Zones ou points de désordres localisés qui permettront de valider le comportement du modèle
Base de données OASIS et CRAIOL	Nantes Métropole	2004-2016	Ensemble du territoire de Nantes Métropole	/	Points de désordres localisés approximativement qui permettront de valider le comportement du modèle

A noter en complément:

- Le Cens : un barrage a été mis en place en amont du périphérique en 2008. Ce barrage permet de stocker un volume d'environ 150 000 m³ ce qui correspond à un niveau de protection décennal. L'emprise correspondant à la simulation de la crue centennale du Cens en configuration aménagée, c'est-à-dire prenant en compte l'influence du barrage, a donc été retenue (Nantes Métropole, 2006). Au niveau de l'avenue Félix Vincent, on dispose seulement de l'emprise de la crue trentennale, reconstituée en 2003, soit avant la mise en place du barrage en amont. Il est donc probable que cette emprise ne corresponde plus exactement au fonctionnement hydraulique actuel du Cens au droit de l'avenue. Elle pourra néanmoins être exploitée à des fins de validation des résultats du modèle hydraulique en phase 2 ;

- Les études hydrauliques du Gesvres (2015), de l'Aubinière (2012) et du Pré-Poulain (2007) n'ont pas conduit à produire des emprises inondables. Ces études ne sont donc a priori pas exploitables dans le cadre de la présente mission ;
- Sur le Pré-Poulain, les données SIG de l'étude SOGREAH de 2003 correspond à l'emprise de la crue centennale en situation actuelle (en 2003) seront exploitées. En effet, les aménagements structurels testés dans le cadre de cette étude n'ont finalement pas été mis en place par la suite.

3.1.2 Interprétation et fiabilité des informations existantes

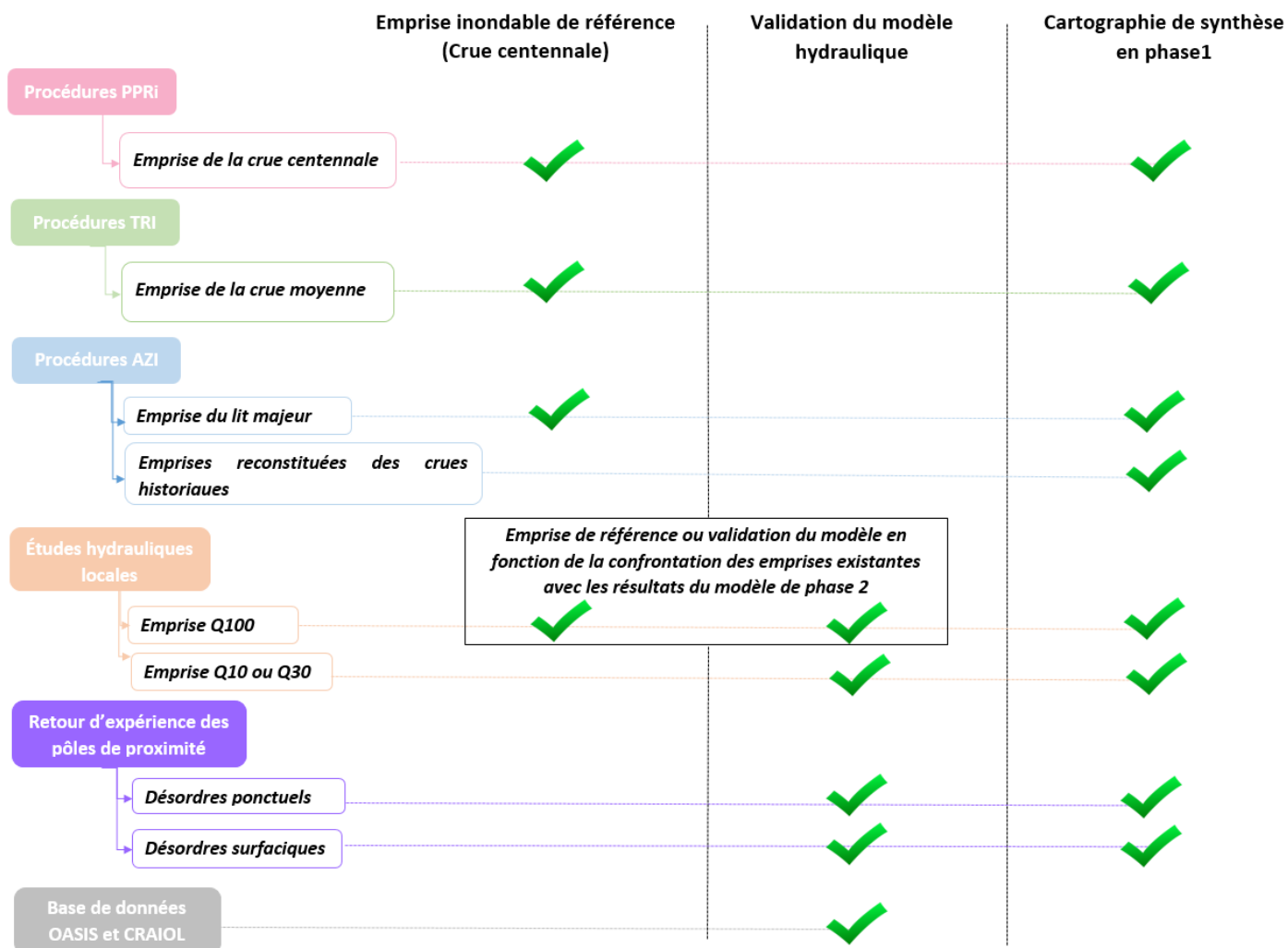
L'ensemble des données collectées relatives aux inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement a été cartographié en phase 1 pour donner un aperçu global et exhaustif de la connaissance du risque à l'échelle du territoire.

Cependant, et comme explicité au chapitre précédent, toutes les données ne seront pas exploitées de la même manière et avec les mêmes objectifs. On distingue notamment :

- ↳ **les emprises inondables de référence** qui constituent déjà une estimation fiable de la zone inondée pour un événement centennal et qui donc ne seront pas mis à jour par les résultats du modèle hydraulique en phase 2. Se pose dès lors la question de la priorisation entre les différentes procédures couvrant un même cours d'eau d'une part, et la validation des emprises d'occurrence centennale issues des études hydrauliques locales d'autre part ;
- ↳ **le retour d'expérience des inondations historiques et les emprises de crues historiques ou de crue de période de retour inférieure à 100 ans**, qui serviront à valider les résultats et le comportement du modèle hydraulique qui sera constitué en phase 2. A l'issue de cette phase 2, c'est donc bien les résultats de ce modèle hydraulique qui permettront de délimiter les emprises inondées de référence, par ruissellement sur les versants et par débordement de cours d'eau le long des ruisseaux non déjà modélisés ou couverts par une procédure. La précision à attendre de la validation du modèle sur la base de ces données dépend fortement de la source de ces dernières.

La figure ci-dessous synthétise l'exploitation projetée des données en fonction de leur nature.

Figure n° 5 Exploitation des différentes sources de données



Globalement, il est nécessaire de garder à l'esprit les éléments suivants :

- ✚ les emprises inondables de référence (crue centennale) existantes (PPRi, AZI, TRI, études locales) concernent les principaux cours d'eau du territoire (Loire, Erdre et Sèvre notamment) et ne prennent en compte que la problématique de débordement de cours d'eau. Sur ces cours d'eau, des modèles hydrauliques complexes ont été utilisés dans le cadre des différentes procédures pour reconstituer les emprises inondées. Le modèle hydraulique qui sera construit en phase 2 sera dimensionné pour une échelle beaucoup plus large (le territoire de Nantes Métropole) et prendra en compte les phénomènes d'écoulement en tout point de la zone d'étude. Il ne pourra donc en aucun cas être aussi précis que les modèles hydrauliques des PPRi et du TRI qui s'appuient sur des données topographiques plus denses (profils en travers, coupes d'ouvrages) et qui surtout ont fait l'objet de tests de sensibilités étalés sur plusieurs mois. De plus, les procédures PPRi, TRI et AZI ont un caractère réglementaire que n'ont pas ni les diverses études locales, ni la présente mission. **C'est la raison pour laquelle sur les cours d'eau principaux, les emprises officielles connues sont plus fiables et devront donc être retenues comme référence sur la cartographie finale de délimitation des zones inondables de Nantes Métropole ;**
- ✚ quelques cours d'eau sont couverts par plusieurs procédures (TRI et AZI pour l'Erdre, TRI, PPRi et AZI pour la Loire Aval, TRI et PPRi pour la Sèvre Nantaise). Se pose dès lors la question de la priorisation des différentes sources de données, qui devra être défini en phase 2, en tenant compte de l'objectif de retenir l'emprise inondée la plus fiable et la plus représentative de l'état d'aménagement actuel du territoire, mais aussi de leurs portées réglementaires, le PPRi étant annexé au PLU et valant servitude d'utilité publique. Aussi, bien que les PPRi soient d'une précision variable (comparativement au TRI) selon leurs dates de réalisation, les emprises PPRi seront utilisées en priorité. Les résultats du TRI ont eux été produits à partir du même modèle hydraulique que celui utilisé dans le cadre du PPRi de la Loire Aval avec l'exploitation de données topographiques plus récentes (Modèle Numérique de Terrain produit à partir de levés LIDAR). Il s'agit donc d'une très bonne alternative au niveau des cours d'eau non couverts par des procédures PPRi (l'Erdre par exemple, et les affluents de la Sèvre non couverts par le PPRi). Les emprises tirées des procédures AZI n'ont pas le même niveau de précision puisqu'elles reposent sur une approche hydrogéomorphologique qui consiste à reconstituer la zone inondable à partir de l'analyse des formes du terrain (identification du lit mineur et du lit majeur du cours d'eau) et de la connaissance des secteurs historiquement touchés. Il s'agit donc d'une approche plutôt maximisante, et donc sécuritaire, moins précise qu'un modèle hydraulique mais valable sur des cours d'eau de taille importante, au profil morphologique marqué. Enfin, la précision des diverses études locales ayant conduit à calculer des emprises inondables est variable et dépend le plus souvent de la date de production des données, de la réalisation ou non des projets d'aménagements testés hydrauliquement et de l'exhaustivité du calage des modèles. A priori, les résultats de ces études restent plus fins que l'approche de modélisation globale qui sera développée en phase 2. Cependant, en cas de divergences importantes constatées (qui pourraient par exemple être liées à des modifications substantielles de la topographie aux abords du cours d'eau depuis la réalisation de l'étude locale), un choix pourra être fait en concertation avec Nantes Métropole quant à la source de données à conserver pour la cartographie finale des zones inondables.

Le tableau ci-dessous propose un ordre de priorisation entre les différentes procédures au niveau des cours d'eau couverts par plusieurs d'entre elles, priorisation qui sera validée au cours de la phase 2.

Tableau n° 3 Priorisation entre les différentes procédures sur les zones de recouvrement

Cours d'eau	Procédures	Emprise de référence	Commentaires
La Loire aval	PPRi Loire aval, TRI, AZI Loire aval	Crue centennale du PPRi	PPRi procédure de référence
Estuaire de la Loire	TRI, AZI de l'estuaire de la Loire	Crue moyenne du TRI	Résultats du TRI (modèle hydraulique) plus précis que ceux de l'AZI (hydrogéomorphologie).
L'Erdre entre la limite nord de Nantes et sa confluence avec la Loire	TRI, AZI de l'Erdre	Crue moyenne du TRI	Résultats du TRI (modèle hydraulique) plus précis que ceux de l'AZI (hydrogéomorphologie). Résultats de l'AZI conservés en amont de Nantes
La Sèvre Nantaise	PPRi Sèvre Nantaise, TRI	Crue centennale du PPRi	PPRi procédure de référence
Affluents de la Sèvre Nantaise	TRI	Crue moyenne du TRI	Résultats du TRI, la plupart des affluents n'étant pas pris en compte dans le PPRi
Confluence Pré-Poulain/Loire	PPRi Loire amont, Etude hydraulique 2003	Crue centennale du PPRi	PPRi procédure de référence au droit de la confluence. Etude locale en amont
L'Aubinière en amont du Boulevard Joseph Bourcy	PPRi Loire amont, PPRi Loire aval et TRI	Crue centennale du PPRi en rive gauche / Crue moyenne du TRI en rive droite	PPRi procédure de référence et TRI

- ↪ en termes de recensement des désordres historiques, les données de retour d'expérience fournies par les pôles de proximité de Nantes Métropole sont a priori fiables et donc témoignent de zones de désordre connues. Elles reposent sur la connaissance du terrain des agents des pôles. Ces données pourront donc servir à vérifier la cohérence **globale** des résultats du futur modèle hydraulique (phase 2). Cependant, il faut garder à l'esprit que **cette source de données n'est pas exhaustive et présente des incertitudes quant à la localisation précise des désordres**. Ainsi, certains témoignages ont été placés au milieu d'une rue ou d'un quartier quand les adresses exactes des maisons touchées n'étaient pas connues. Dans certains cas de figure, plutôt que de positionner un point de désordre sur chaque habitation inondée au sein d'un même quartier, un seul point a été placé au centre de ces habitations. Enfin, la récurrence des événements n'a pas été prise en compte : ainsi, un secteur inondé à trois reprises peut n'être signalé que par un seul point de désordre.

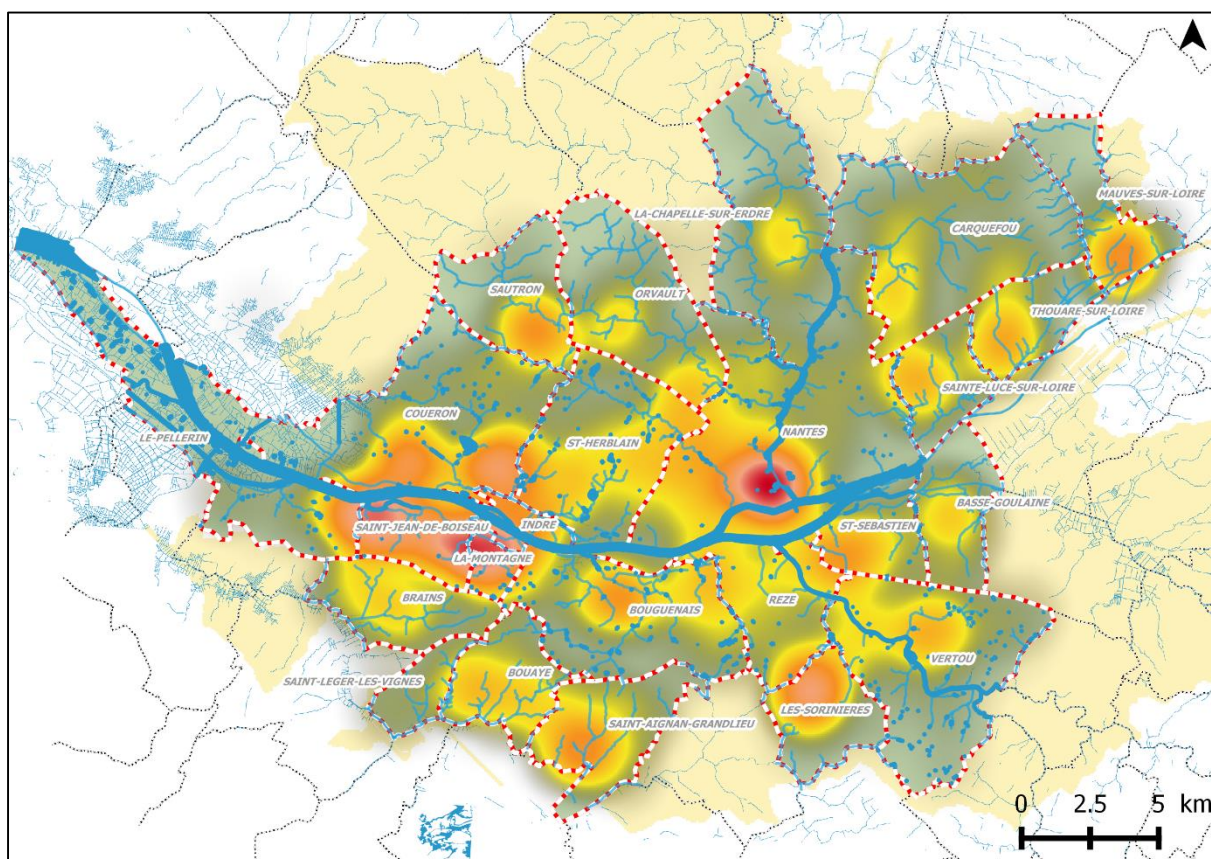
- ↳ Les données issues des bases de données de réclamations OASIS et CRAIOL sont d'une nature différente. Elles ont été extraites des bases de données via une sélection par mots clefs (en l'occurrence inondation et débordement). Il y a donc une incertitude importante sur la pertinence des données sélectionnées qui parfois ne reflètent qu'un problème ponctuel (une fuite d'un réseau par exemple). De plus, ces données, extraites au format adresse, ont ensuite été géocodées à partir du référentiel BANO (Base Adresse Nationale d'OpenStreetMap) avec une précision de géocodage variable, parfois à la rue et non au bâtiment. En l'état, ces données OASIS et CRAIOL sont donc intéressantes mais à utiliser avec précaution car soumises à de fortes incertitudes. C'est la raison pour laquelle ces informations n'ont pas été reportées sur les cartographies de synthèse de la phase 1.

En revanche, elles apparaissent sur la plateforme cartographique en ligne dont la vocation est de regrouper le maximum d'information sur les inondations et de permettre aux utilisateurs de contribuer à les enrichir et à les fiabiliser (voir plus loin).

La figure page suivante permet de visualiser la répartition géographique et la densité d'informations historiques collectées à l'échelle du territoire en phase 1 (vert = faible densité à rouge = forte densité).

Globalement, les témoignages de désordres historiques collectés sont bien répartis à l'échelle du territoire de Nantes Métropole avec cependant quelques zones de lacunes observables notamment au niveau des extrémités amont des cours d'eau secondaires.

Figure n° 6 Densité d'information historique et localisation des principales zones de désordres



L'ensemble des données relatives aux inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement collectées durant la phase 1 est restitué sous différents formats :

- ↗ les données sont hiérarchisées dans une base de données bibliographique et spatiale dont la structure est détaillée au chapitre 4 ;
- ↗ des cartographies par commune au 1/ 17000^e avec un format adaptatif (A0, A1, A2, A3, A4) adapté à la taille de la commune et une cartographie globale à l'échelle du territoire de Nantes Métropole au 1/37 000^e. L'objectif de ces cartographies est de restituer de manière claire et pédagogique l'état de connaissance actuel du risque d'inondation par débordement de cours d'eau et par ruissellement à l'échelle de Nantes Métropole. La légende de la carte a donc été structurée par procédure afin de faciliter sa compréhension.

Figure n° 7 Légende des cartographies de synthèse sur les inondations

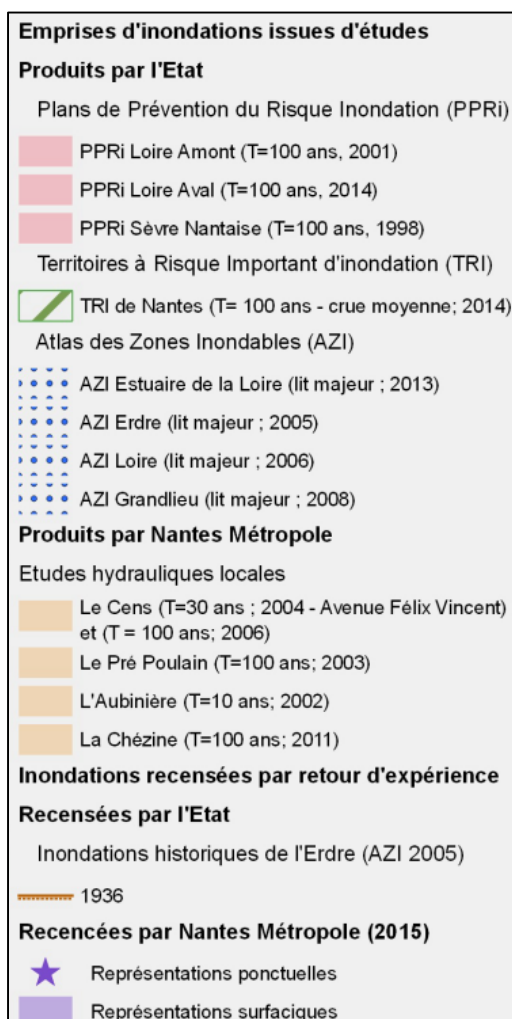
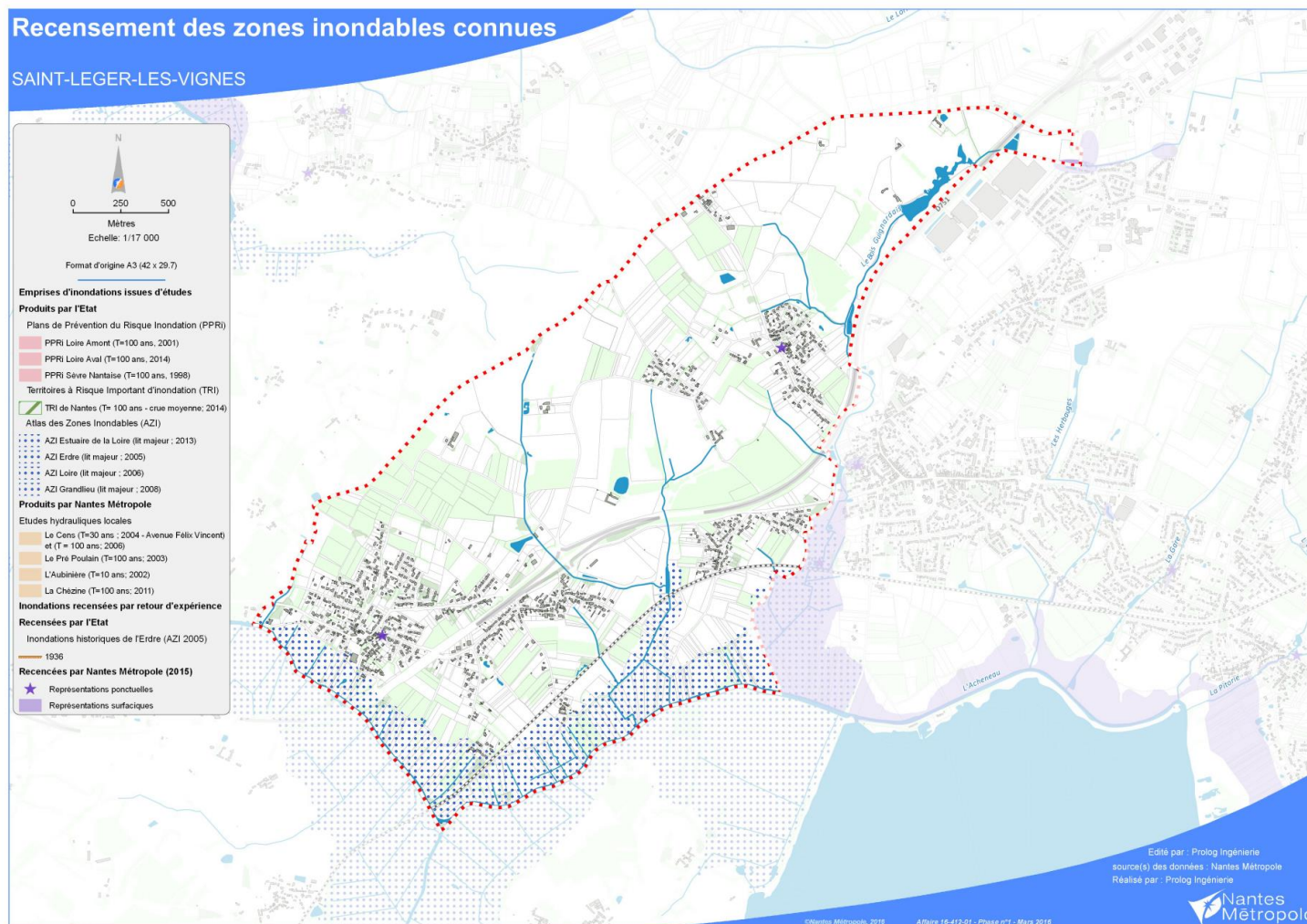


Figure n° 8 Exemple de la cartographie de synthèse des zones inondables de la commune de Saint-Jean-de-Boisseau



NANTES METROPOLE / PROLOG INGENIERIE

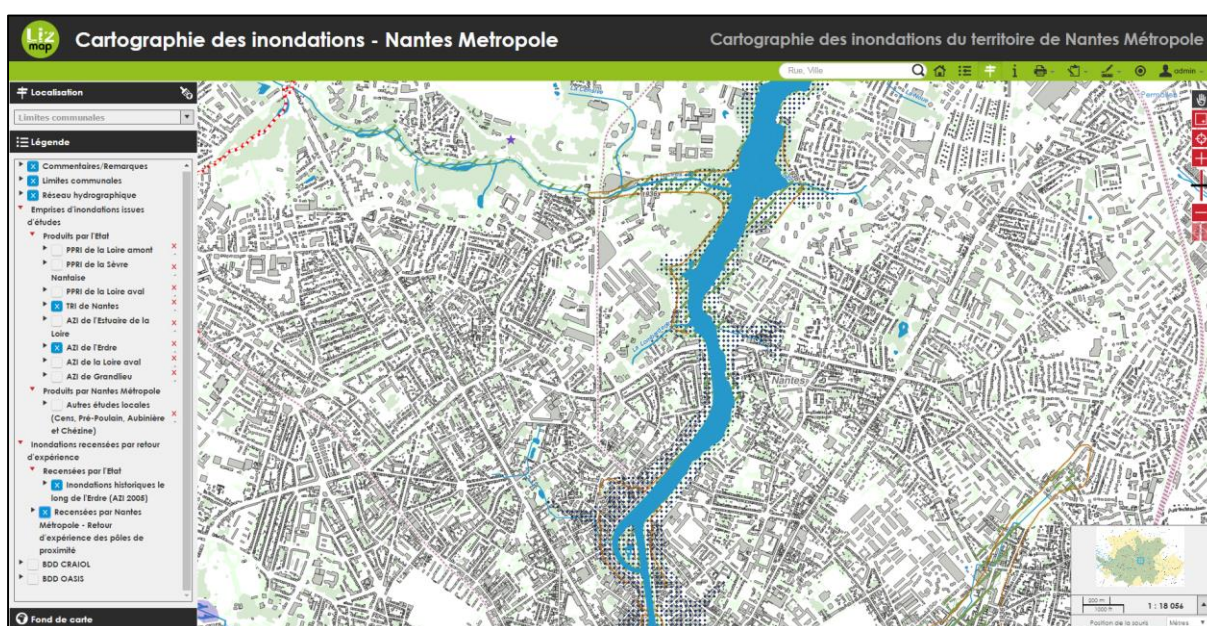
Cartographie des zones inondables sur le territoire de Nantes Métropole pour l'élaboration du PLU intercommunal

R_16_412_01_PHASE1_V0.2

Mai 2016

- ↗ une plateforme cartographique en ligne regroupant l'ensemble des informations figurants sur les cartographies (en y ajoutant les données OASIS et CRAIOL) et permettant aux utilisateurs autorisés de visualiser ces informations à différents niveaux de zoom, sur une commune donnée ou à une adresse donnée, d'imprimer des cartes PDF sur des secteurs d'intérêt précis, de laisser des commentaires pouvant permettre de fiabiliser une information ou d'ajouter un témoignage d'une zone historiquement inondée. Cette plateforme sera exploitée tout au long de l'étude afin de diffuser les résultats des différentes phases à Nantes Métropole. Une notice d'utilisation détaillant l'ensemble des fonctionnalités a été élaborée et transmise à Nantes Métropole.

Figure n° 9 Plateforme cartographique en ligne dédiée à l'étude



3.2 DONNEES RELATIVES A LA REALISATION DE LA PHASE 2

Dans le cadre de la phase 1, ont également été collectées et analysées des données qui serviront directement à la réalisation de la phase 2 que ce soit la construction du modèle hydraulique de simulation des écoulements ou la définition des hypothèses hydrologiques (pluies de référence) qui seront testées dans ce modèle.

Trois points en particuliers sont abordés dans le chapitre :

- ↗ le traitement des données topographiques (altimétrie du sol) afin de produire un modèle numérique de terrain sur l'ensemble du territoire modélisé ;
- ↗ la question des ouvrages de passages et des obstacles aux écoulements ;
- ↗ les pluies de projets qui seront simulées dans le modèle

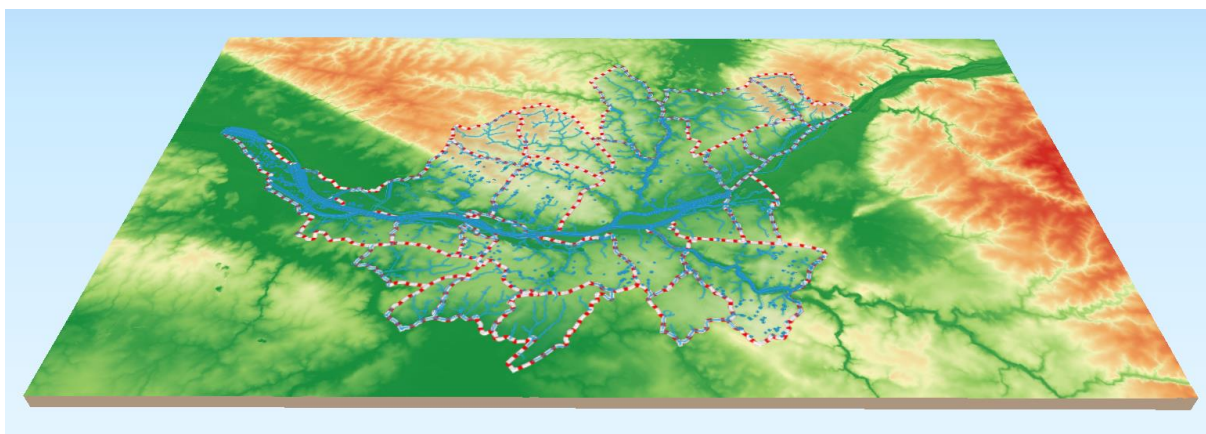
3.2.1 Sources de données topographiques

Comme explicité au chapitre II, la zone qui sera modélisée en phase 2 est plus large que l'emprise du territoire de Nantes Métropole puisque la contribution des versants amont, qui alimentent les communes de Nantes Métropole, doit également être prise en compte pour calculer les bons apports hydrologiques.

C'est la raison pour laquelle il a été nécessaire de produire un modèle numérique de terrain (MNT) sur l'emprise totale de la zone d'étude à partir d'une fusion entre:

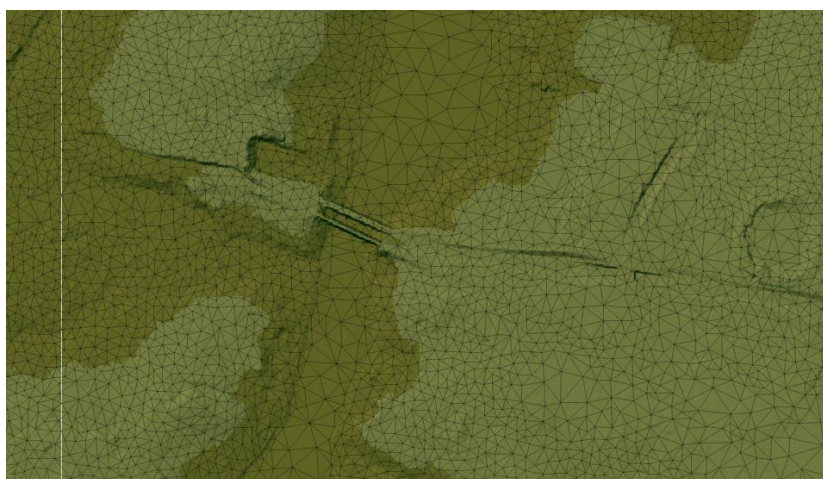
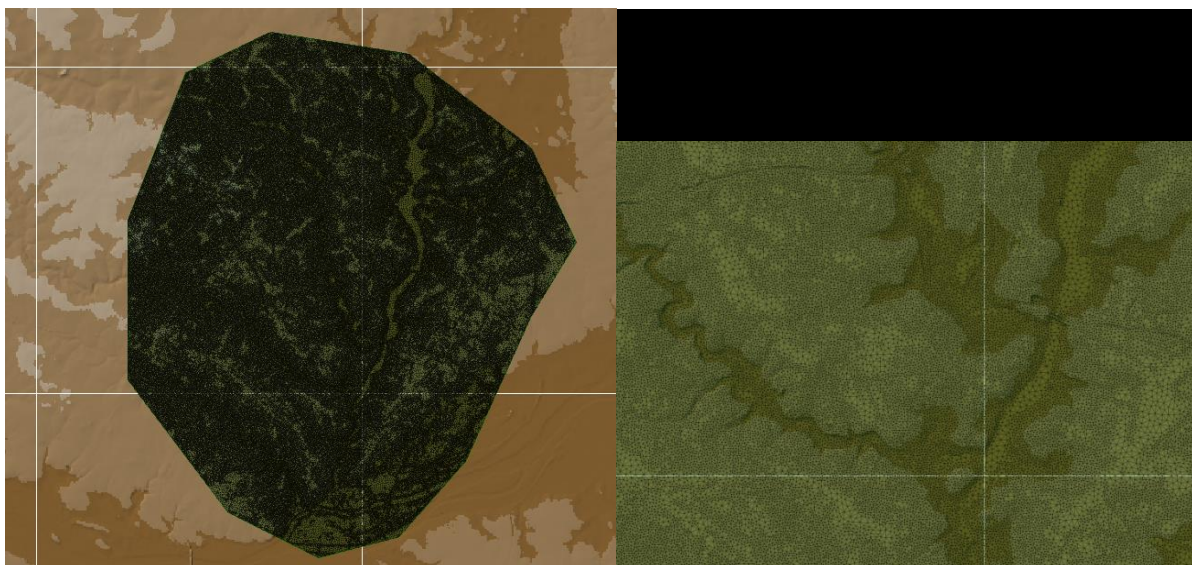
- ↗ le MNT de Nantes Métropole, issu d'un levé aéroporté LIDAR et présentant une résolution de 1 m (produit en 2005)
- ↗ le MNT de la BP TOPO présentant une résolution de 25 m (ce MNT est mis à jour régulièrement, par secteur par l'IGN si bien que sa date de production peut être hétérogène d'une commune à l'autre).

Figure n° 10 Modèle numérique de terrain reconstitué à l'échelle du périmètre d'étude



Pour rappel, le maillage de calcul numérique bi-dimensionnel qui servira à modéliser les écoulements sur le territoire sera construit directement sur la base de ce MNT. Chaque maille de calcul se verra affecter la cote du terrain naturel sous-jacente et la taille des mailles s'adaptera automatiquement en fonction des variations topographiques du terrain (affinage des mailles au droit des remblais et au sein des secteurs urbanisés par exemple).

Figure n° 11 Illustration de l'adaptation automatique du maillage aux formes de la topographie sur le bassin versant de l'Erdre



3.2.2 La question des obstacles aux écoulements

La modélisation qui sera conduite en phase 2 permettra de reproduire les phénomènes d'écoulement sur l'ensemble des versants de Nantes Métropole. L'amplitude de ces phénomènes sera conditionnée à la fois par :

- ↗ la pluie de projet retenue en entrée du modèle (voir plus loin) ;
- ↗ l'occupation des sols et donc la capacité d'infiltration différenciée des sols en fonction de leur couverture ;
- ↗ **l'influence des obstacles, naturels ou artificiels, qui vont modifier le sens d'écoulement des eaux, créer des points de passages locaux et concentrer les eaux.**

Le choix de la pluie de projet se basera sur cumuls pluviométriques de référence établis à la station Météo France de Nantes Bouguenais pour une occurrence centennale.

L'occupation des sols sera prise en compte dans le modèle par l'intermédiaire de coefficients d'infiltration différenciés, usuellement retenus et validés dans le cadre de nos études hydrauliques. Les marges d'incertitudes et d'ajustement sont donc réduites au niveau de ces deux paramètres.

Ainsi, finalement, la plus grosse source d'erreur dans la représentation des zones inondées réside dans une mauvaise prise en compte des obstacles aux écoulements et des points de passage des eaux. En effet, le territoire de Nantes Métropole étant globalement fortement urbanisé, l'écoulement des eaux est contraint par différents types d'ouvrages :

- ↪ les remblais routiers avec des points de passages potentiels au niveau des trémies ou des ouvrages de traversée des cours d'eau ;
- ↪ les remblais SNCF avec là encore des points de passages potentiels au niveau des ouvrages de traversée de route ou de cours d'eau.

Une mauvaise représentation ou un oubli de ces points de passage pourrait donc conduire à :

- ↪ créer des zones d'accumulation fictives en amont d'un remblai car l'ouvrage de vidange est mal représenté ;
- ↪ modifier les axes d'écoulement des eaux de ruissellement et donc potentiellement venir inonder des secteurs qui ne le seraient normalement pas.

Une prise en compte réaliste et exhaustive de ces points de passage dans le modèle est donc une étape clef de sa construction et une garantie de la validité des résultats produits.

Au vu de la taille du territoire d'étude à modéliser (500 km², 600 km de cours d'eau), il ne sera évidemment pas possible d'intégrer manuellement chaque ouvrage avec ses dimensions propres. Il faut aussi garder à l'esprit que dès lors que l'on cherche à modéliser un événement centennal, seules les ouvrages de passages d'une taille moyenne à conséquente auront un impact. L'ensemble des petites buses ou ouvrages de passages dimensionnés pour des pluies courantes seront généralement surchargés et surversés pour une telle pluie. Il n'est donc pas nécessaire de se concentrer sur ces ouvrages mais plutôt sur les points de passages principaux au travers des remblais. Au niveau de ces derniers, là encore, l'objectif n'est pas de reproduire exactement la bonne géométrie de l'ouvrage ou sa loi hauteur-débit mais bien de simuler le bon comportement :

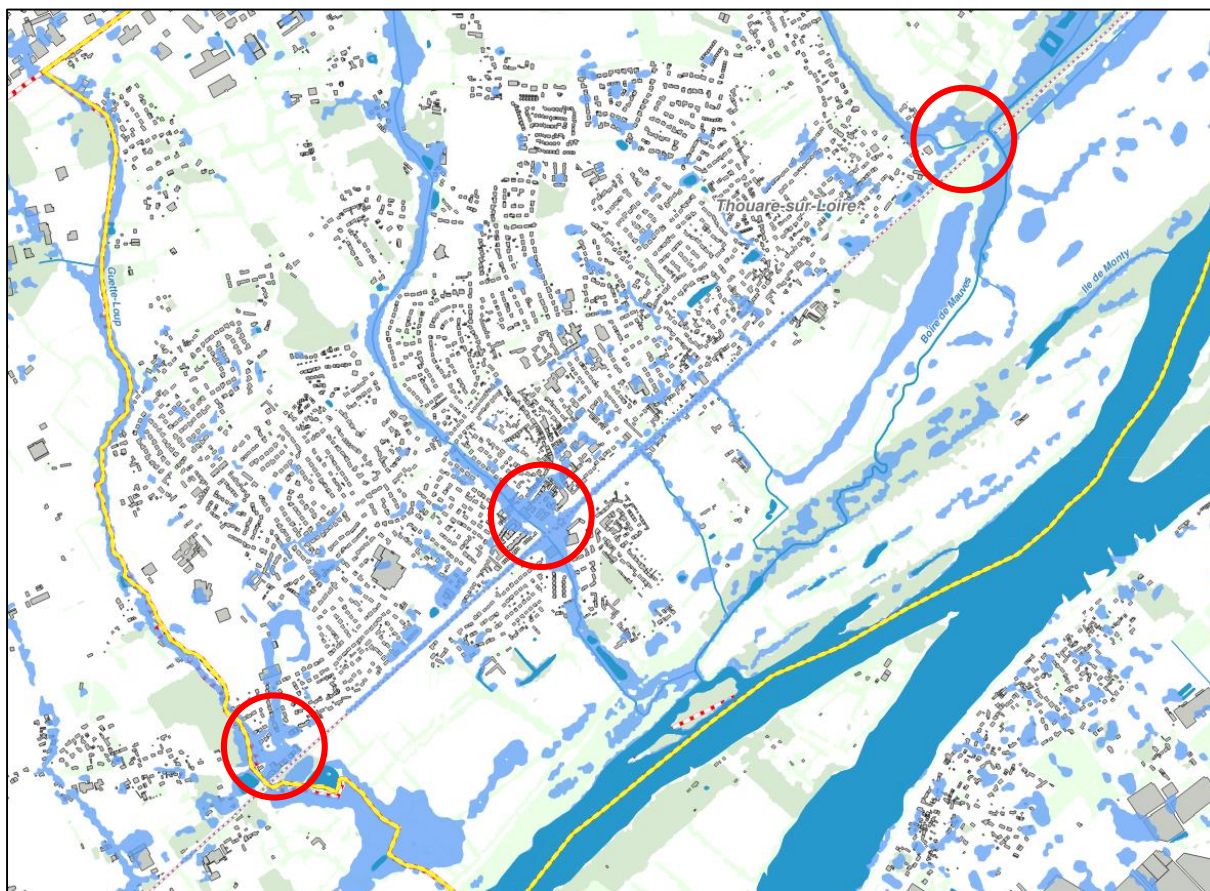
- ↪ soit la section de passage est de taille moyenne et peut avoir un effet limitant qui entrainera un effet d'accumulation en amont et dans ce cas-là le modèle doit mettre en évidence ce phénomène ;
- ↪ soit la section de passage est grande et non limitante et dans ce cas-là, il est seulement nécessaire de créer un point de passage dans le modèle.

La figure ci-après présente les résultats d'une première simulation des phénomènes de ruissellement grossière, sans prise en compte des points de passages ou de la rugosité différenciée des sols. Il permet néanmoins d'identifier en première approche quelques zones de stockages artificielles potentielles créées par l'absence d'ouvrage de passage.

Figure n° 12 Résultats d'un premier test de simulation des écoulements sur le sous bassin versant de l'Erdre



Figure n° 13 Identification (en rouge) de quelques zones d'accumulation potentielles liées à une mauvaise représentation des points de passage sous la voie SNCF à Thouaré-sur-Loire



La méthodologie choisie consiste donc à procéder par itérations successives en exploitant en premier lieu les données dont l'intégration peut être automatisée, puis en venant ponctuellement affiner les dimensions des ouvrages si nécessaire au niveau des zones de sur-stockage potentielles.

Les sources de données qui seront exploitées dans la méthodologie d'intégration des points de passages sont les suivantes :

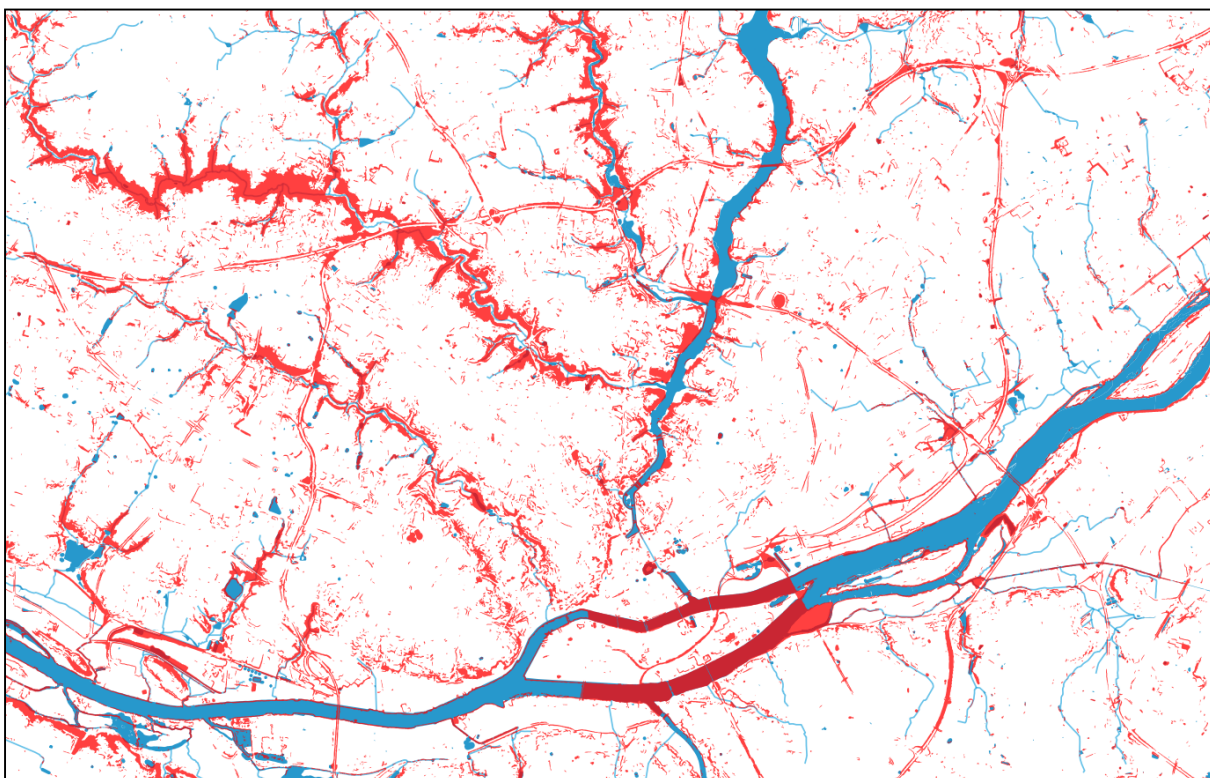
- ↳ la couche d'ouvrage d'art de Nantes Métropole (Ouvragedart1_point) qui renseigne sur le type d'ouvrage et sur le gabarit de ces derniers (T1 à T8). En première approche, ce sont ces gabarits qui seront utilisés pour le dimensionnement des ouvrages de passage (de T1 à T3 a priori, les autres gabarits n'étant pas significatifs pour une pluie centennale)

Tableau n° 4 Description des différents gabarits d'ouvrages (Source : Nantes Métropole)

T1	Ponts ≥ 10 m, ponts provisoires, buses métalliques, tunnels et trémies, murs $h \geq 5$ m, ouvrages non courants (OA soumis à ID périodique)
T2	Ponts / ponceaux $5 \text{ m} \geq \text{portée} \geq 10 \text{ m}$, ouvrages avec constatation d'anomalies, sur structure porteuse (OA nécessitant 1 surveillance attentive)
T3	Ponts / ponceaux / dalots < 5 m, murs soutènement $1 \text{ m} > h > 5 \text{ m}$
T4	Ouvrages de rives
T5	A déterminer types - propriétaires
T6	Ouvrages comblés, détruits
T7	Divers, escaliers...
T8	Busages, tuyaux béton

- ↪ sur certains de ces ouvrages, le service espace public de Nantes Métropole dispose d'une base de données contenant des informations plus fines sur les dimensions des ouvrages d'arts. Cette base sert notamment à produire les fiches ouvrages de Nantes Métropole. Elle n'est pas forcément exhaustive mais dans la mesure où il est possible de prendre en compte de manière automatique ces informations, elles seront intégrées dans le modèle ;
- ↪ on dispose également en complément :
 - d'une couche d'obstacles, constituée dans le cadre d'une étude sur la trame verte et bleue de l'agglomération Nantaise, qui recense les obstacles à la continuité écologique (au sens d'obstacles au déplacement des espèces animales), fournie par Nantes Métropole et indiquant parfois des dimensions (largeur et hauteur d'ouvrage) ;
 - la base ouvrage de la SNCF qui contient une couche recensant les ponts et ouvrages sous voie ferrée avec également des dimensions indiquées qui pourront être exploitées dans le modèle.
- ↪ enfin, sur la base du modèle numérique de terrain, ont été détectés tous les remblais et talus du territoire qui par croisement avec le réseau hydrographique, routier et ferré peuvent indiquer des points de passages potentiels additionnels qui n'aurait pas été recensés dans les autres sources de données.

Figure n° 14 Détection des talus et remblais présents sur le territoire de Nantes Métropole qui permet d'identifier rapidement des zones de blocage et donc des points de passages potentiels



Des premières simulations seront réalisées à partir de ces différentes sources de données et un examen qualitatif des résultats (notamment par comparaison avec les couches de désordres historiques) permettra d'identifier les secteurs problématiques à affiner en utilisant les fiches ouvrages de Nantes Métropole ou en réalisant des visites de terrain très ponctuellement sur des ouvrages stratégiques.

3.2.3 Les pluies de projets

Nantes Métropole souhaite qualifier le risque d'inondation pour un événement centennal. En effet, l'ensemble des experts ainsi que les références réglementaires s'accordent pour retenir la référence centennale pour la prise en compte du risque inondation (directive inondation, loi Barnier de 1995, CEPRI...). C'est la raison pour laquelle nous proposons de construire des pluies de projets d'occurrence centennale à partir des coefficients de Montana de la station Météo-France de Nantes-Bouguenais (construits sur des durées de respectivement de 6 min à 1h, de 1 h à 24h et enfin de 24 h à 96 h).

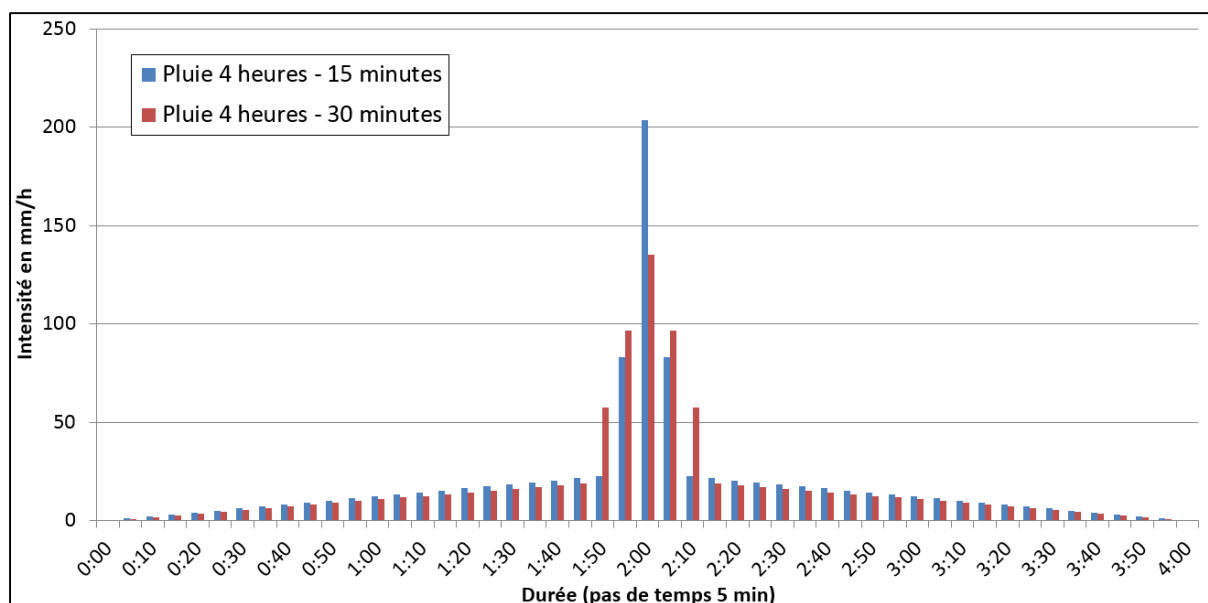
Tableau n° 5 Cumuls de précipitations de période de retour T= 100 ans sur des durées de 6 min à 96 h utilisés pour construire les pluies de projet (Source : Coefficients de Montana – Station de Nantes-Bouguenais - Météo-France)

Durée de l'épisode	a = 8.538 et b= 0.557	a = 41.292 et b= 0.899	a = 13.323 et b= 0.748
	Cumul en mm		
6 minutes	18.9		
15 minutes	28.3		
30 minutes	38.5		
1 heure	52.4		
2 heures		67	
3 heures		69.8	
6 heures		74.8	
12 heures		80.3	
24 heures		86.1	
48 heures			99.2
96 heures			118.1

Plusieurs pluies de typologies différentes seront testées afin de retenir la pluie la plus représentative en termes d'inondation. Seront testés notamment :

- ↪ une pluie estivale de durée totale 4 h et de durée intense de 15 et 30 min, respectivement centennale sur ces durées.

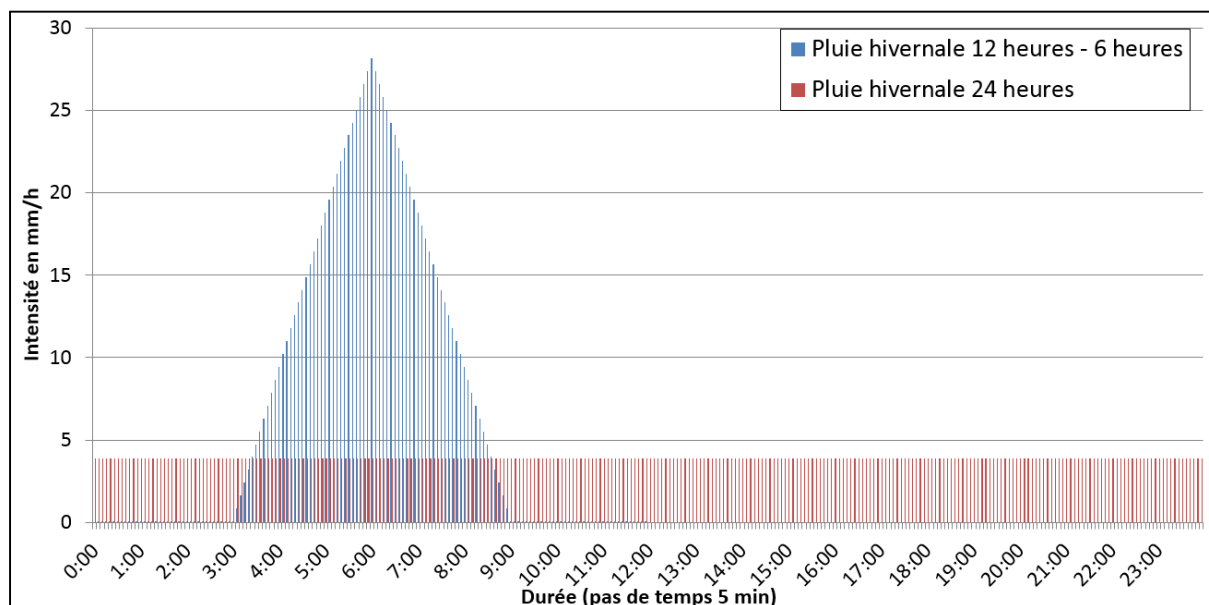
Figure n° 15 Hyétoigrammes des pluies de projet double triangle centennales estivales 4 heures (durée totale) – 15 et 30 minutes (durée intense)



Pluie	Cumul total en mm	Cumul sur la durée intense en mm
4 h – 15 min	71.5	28.3
4 h – 30 min	71.5	38.5

- ↪ une pluie hivernale double rectangle constante, centennale sur 24 heures et une pluie double triangle hivernale centennale sur sa durée totale de 12 heures et sur sa durée intense de 6 heures

Figure n° 16 Hyétogrammes des pluies de projet centennales hivernales double rectangle sur une durée totale 24 h et double triangle sur une durée totale de 12 heures et une durée intense de 6 heures



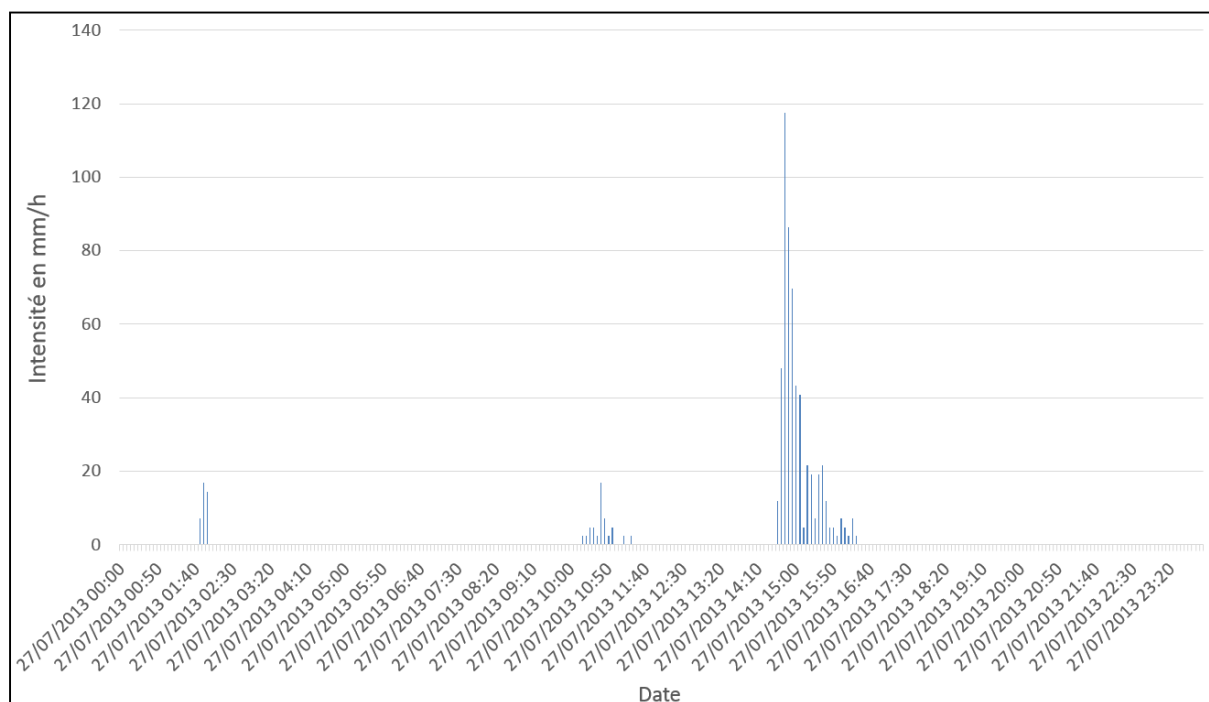
Pluie	Cumul total en mm	Cumul sur la durée intense en mm
Double rectangle 24 h	86.1	/
Double triangle 12h – 6 h	80.3	74.8

Il est également intéressant d'analyser les pluies historiques réelles qui ont entraîné des inondations plus ou moins étendues à l'échelle de Nantes Métropole.

Le territoire a été exposé à des pluies extrêmes, on peut citer notamment les pluies suivantes :

- ↪ la pluie du 7 juin 2013 avec un pic localisé en centre bourg de la Commune de Carquefou au nord-est de Nantes. Le pluviomètre d'Aulnay sur la commune de la Chapelle-sur-Erdre ne témoigne pas de l'ampleur des précipitations avec un cumul relativement modéré de 10.4 mm sur 30 minutes. Or, la hauteur d'eau estimée d'après la station radar Météo France de Treillières est de 50 mm en 1h, et même de 78 mm en 40 min selon le pluviomètre d'un riverain. Cette pluie, qui a touché la commune de Carquefou, présente donc une période de retour supérieure à 100 ans sur 40 min et l'état de catastrophe naturelle a d'ailleurs été reconnu dans le cadre de l'arrêté du 10 septembre 2013 ;
- ↪ la pluie du 27 juillet 2013 avec les précipitations maximales sur une heure enregistrées au niveau de la commune du Pellerin, au droit de la station de la Jaunaie (cumul de 42 mm sur une heure soit une période de retour de l'ordre de 30 ans). La lame d'eau du radar Météo France de Treillières confirmé par la mesure de la station de Saint-Même-le-Tenu est de l'ordre de 50 mm en 1h. Les communes de Couëron, Le Pellerin et Sautron font partie des plus exposées à cette pluie orageuse exceptionnelle. L'état de catastrophe naturelle a été reconnu dans l'arrêté du 10 septembre 2013.

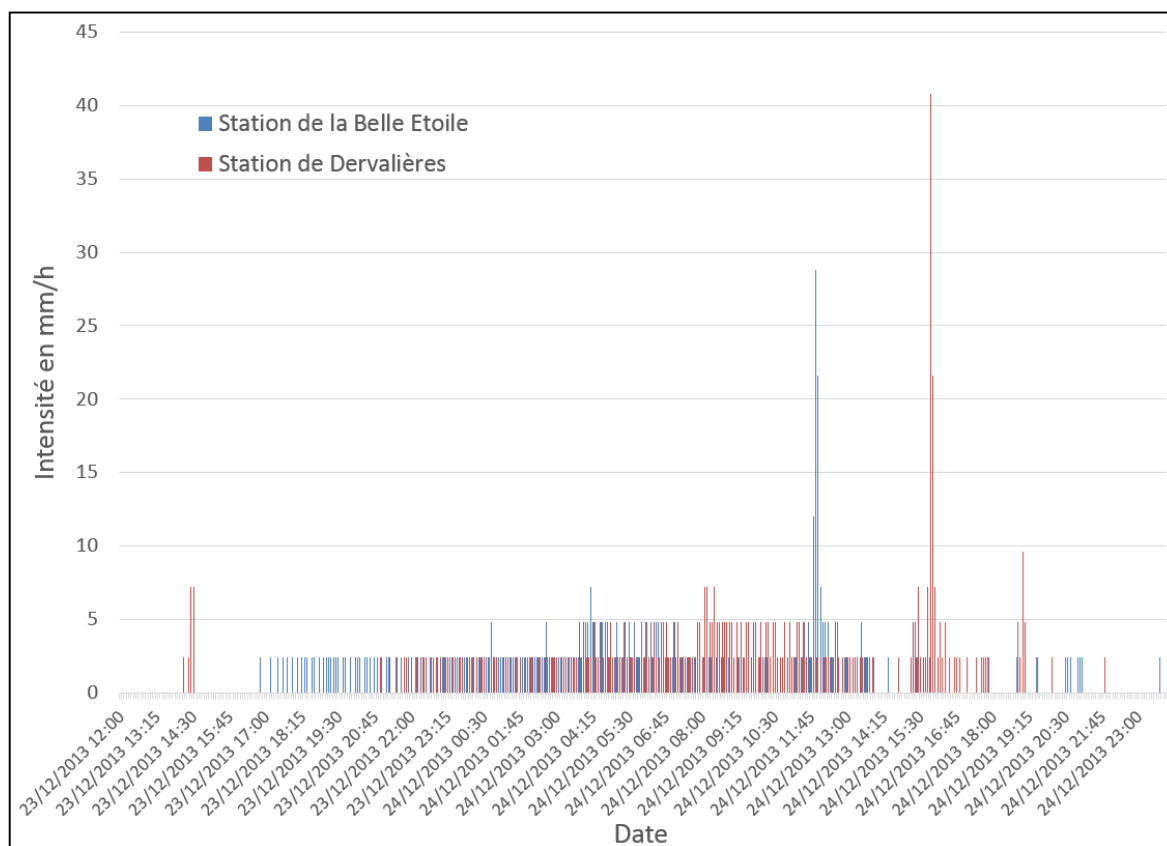
Figure n° 17 Hyétogramme de la pluie du 27 juillet 2013 au Pellerin (la Jaunaie)



✎ la pluie du 24 décembre 2013 survenue lors du passage de la tempête DIRK ayant générées des crues des ruisseaux de la Chézine à Nantes et du Pré Poulain à Thouaré sur Loire est assez homogène et étendue comme le montre la figure ci-dessous au niveau des pluviomètres de Belle Etoile et des Dervalières. Le cumul maximal sur 24 h consécutives à la station de Belle Etoile Dervalières est de 50.8 mm et de 57.2 mm à la station des Dervallières ce qui leur confère une période de retour de 5 ans et comprise entre 5 et 10 ans.

Les jours qui ont précédé la journée du 24/12/2013, il est tombé 61 mm en 48 h, près de 80 mm en 96 h et près de 99 mm en 192 h. Le territoire de Nantes Métropole a été confronté à un événement pluvieux de longue durée avec des cumuls de précipitation significatifs, sans pour autant présenter un caractère exceptionnel. Le cumul de pluie précédant l'événement est un facteur aggravant. Le degré de saturation des sols des bassins versants, amplifié par la proximité de la nappe d'eau souterraine, engendre des ruissellements beaucoup plus importants que ceux habituellement constatés pour ce type d'événement pluvieux.

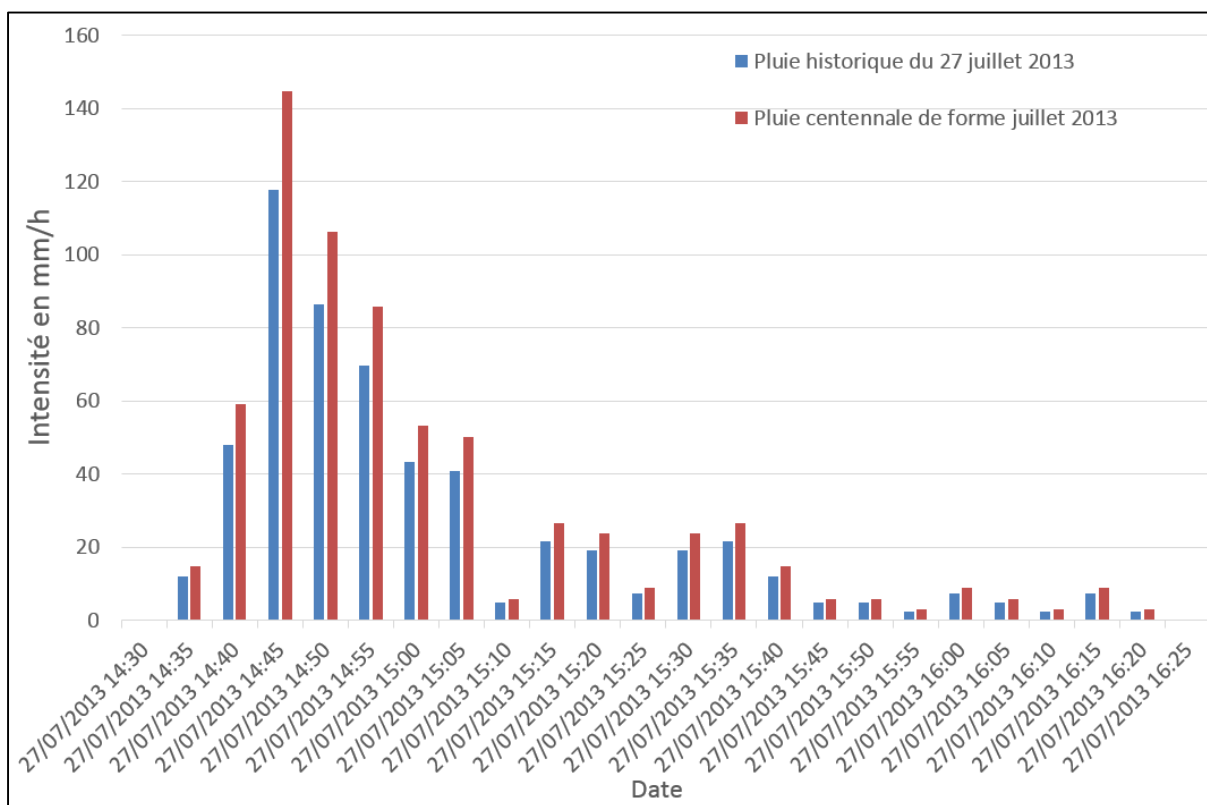
Figure n° 18 Hyétogramme de la pluie du 24 décembre 2013 à Thouaré-sur-Loire (Belle étoile) et à Nantes (Dervalières)



Après analyse de ces pluies historiques, nous proposons de tester en phase 2 deux pluies centennales complémentaires qui présenteront la même forme que les pluies du 27 juillet 2013 (estivale) et du 24 décembre 2013 (hivernale) mais avec des cumuls de période de retour 100 ans :

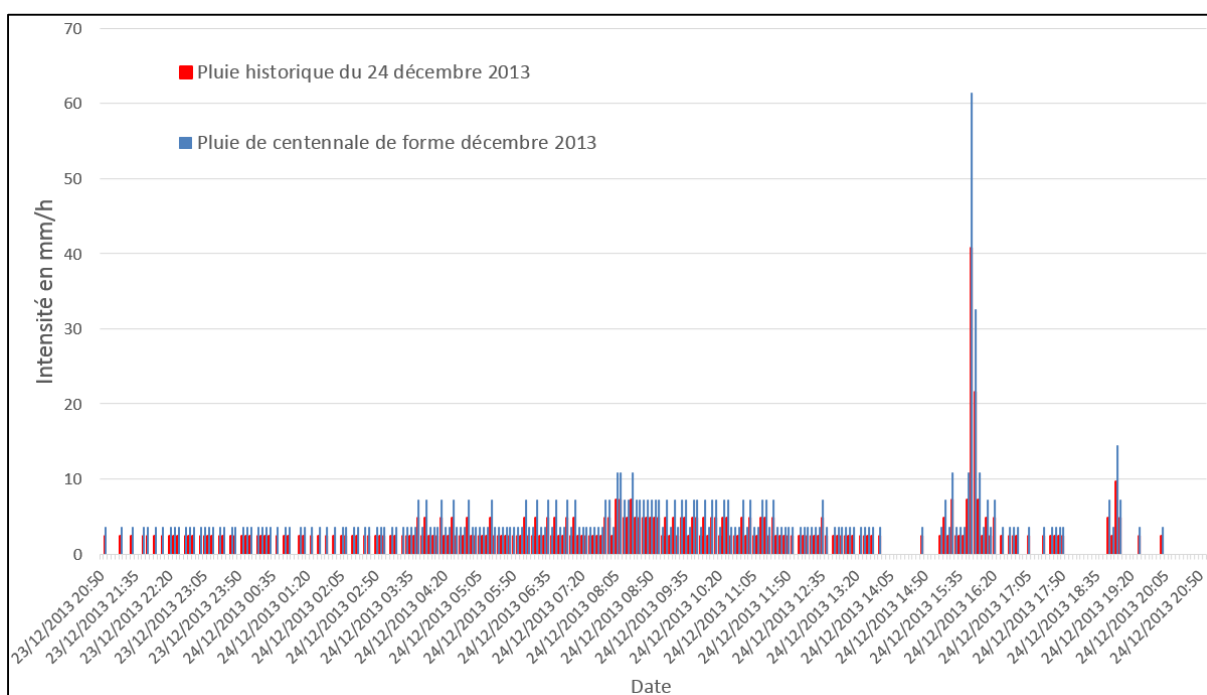
- ↪ sur 1 heure pour la pluie du 27 juillet 2013 ;
- ↪ sur 24 heures pour la pluie du 24 décembre 2013.

Figure n° 19 Hyétogramme de la pluie de projet de forme juillet 2013



Pluie	Cumul total sur 2 heures en mm	Cumul sur 1 h en mm
27 juillet 2013 historique	46.6	42.6
27 juillet 2013 centennale	57.3	52.4

Figure n° 20 Hyétogramme de la pluie de projet de forme juillet 2013



Pluie	Cumul total sur 24 heures en mm
24 décembre 2013 historique	57.2
24 décembre 2013 centennale	86.1

Une fois que les différents tests de sensibilité auront permis d'identifier la pluie centennale la plus représentative qui sera retenue comme référence dans la présente étude, deux pluies décennale et trentennale de même forme seront également modélisés.

A noter qu'une hypothèse d'homogénéité des précipitations sera appliquée dans le cadre de cette étude puisque, à la différence des procédures PPRI, l'objectif ici est bien de délimiter l'emprise des zones potentiellement inondables sur tout le territoire et par conséquent d'identifier tous les axes de ruissellement et points bas potentiellement inondés, et non de viser la reconstitution réaliste d'un événement en particulier, le délai d'étude et les méthodologies mises en œuvre ne permettant pas ce niveau de précision.

Les pluies de projet finalement retenues seront appliquées directement sur le maillage de calcul au niveau duquel seront prises en compte les pertes **par infiltration** en utilisant un modèle d'infiltration constant basé sur l'occupation des sols du territoire.

En revanche, ne seront pas modélisées les pertes :

- ↳ par **évapotranspiration** : a priori négligeable compte-tenu de la durée des pluies qui seront simulées ;
- ↳ liées au **réseau d'évacuation des eaux pluviales** : ce dernier sera considéré comme transparent dans les calculs, **quelle que soit l'occurrence de pluie testée.**

4 STRUCTURATION DE LA BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUE ET SPATIALE

4.1 PRESENTATION DE LA BASE DE DONNEES

Notre expérience montre que l'exploitation a posteriori et la mise en valeur d'une somme d'informations collectés sous différents formats (études, couches SIG, photographies, etc.), telle que celle qui a été constituée dans le cadre de la phase 1, et qui sera complétée dans les phases suivantes, sont conditionnées par la mise en place **d'une base de données à la fois bibliographique et spatiale**, et structurée par **grandes thématiques homogènes**.

La base de données est structurée comme suit :

- ↳ Trois sous-dossiers à la racine de la base qui contiennent respectivement :
 - BASE_BIBLIO : l'ensemble des rapports, études et autres documents qui ont été analysés en phase 1 ;
 - BASE_SIG : l'ensemble des données SIG ou tabulaires collectées auprès de Nantes Métropole ou d'organisme extérieures ou produites dans le cadre de la présente étude ;
 - PROJET_SIG : l'ensemble des projets cartographique QGIS ayant servi à produire les cartographies PDF de synthèse sur les inondations

Figure n° 21 Structure globale de la base de données

Nom	Modifié le
BASE_BIBLIO	22/03/2016 12:30
BASE_SIG	28/01/2016 11:40
PROJET_SIG	13/01/2016 14:49

4.2 BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUE

On retrouve à l'intérieur de cette base l'ensemble des documents analysés au cours de la phase 1 qu'il s'agisse d'études relatives à des zonages inondations existants, de données relatives aux pluies, de données qui seront exploitées dans le cadre de la futur modélisation en phase 2. A ce stade, les thématiques suivantes sont répertoriées dans la base bibliographique :

- ↳ Zonage inondations : études et rapports liés à la production de zonages inondation ;
- ↳ Pluies : chroniques de pluies historiques et statistiques de la station de Nantes Bouguenais ;
- ↳ Ouvrages : exemples de fiches ouvrages et descriptions des gabarits d'ouvrages (T1 à T8) ;
- ↳ Etudes_Divers : autres études potentiellement utiles.

Figure n° 22 Structure de la base bibliographique

Nom	Modifié le
ZONAGE_INONDATION	08/04/2016 11:42
PLUIES	22/03/2016 12:49
OUVRAGES	22/03/2016 12:47
ETUDES_DIVERS	22/03/2016 12:48

4.3 BASE DE DONNEES SPATIALES

La base de données spatiales ou SIG contient l'ensemble des données géographiques ou sous formes tabulaires collectées auprès de Nantes Métropole, de l'IGN ou encore d'Open Street Map et les données SIG produites dans le cadre de l'étude.

Les thématiques suivantes sont actuellement présentes dans la base :

- ↗ Aléa : actuellement vide, elle contiendra les emprises inondées décennale, trentennale et centennale issues du modèle hydraulique ;
- ↗ Enjeux : il s'agit des enjeux de la BD TOPO de l'IGN et du TRI de Nantes qui pourront être exploités en phase 4 ;
- ↗ Historique : on retrouve dans cette section les couches de retour d'expérience des pôles de proximité, les bases de données OASIS et CRAIOL ;
- ↗ Modélisation : sont regroupées ici des couches SIG qui serviront à façonner le maillage du modèle hydraulique : ouvrages, haies, passages, ainsi que les éléments géométriques composant le modèle ;
- ↗ PLU : regroupe les couches du PLU ;

- ↳ Référentiel : contient l'ensemble des couches de fond de plan, fond de carte ou données de référence qui ont été exploitées pour produire le MNT de la zone d'étude ou constituer le fond de plan des cartographies de synthèse.

Il s'agit de couches provenant du service géomatique de Nantes Métropole, de la BD TOPO de l'IGN et d'Open Street MAP, ainsi que de couches transmises par des organismes externes (SNCF ou autres) ;

- ↳ Terrain : actuellement vide, cette section regroupera les éventuelles observations de terrain ou photographies géoréférencées ;
- ↳ Zonage Inondation : contient les emprises SIG existantes tirées des procédures PPRI, TRI et AZI ou des études hydrauliques locales

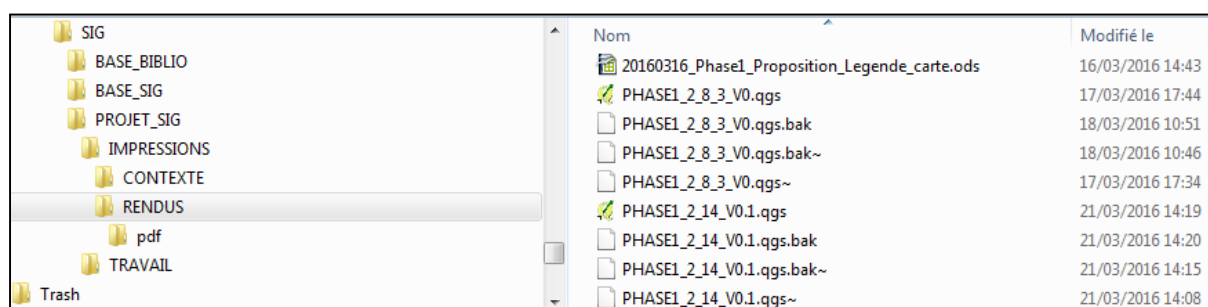
Figure n° 23 Structure de la base SIG

Nom	Modifié le
ALEA	09/07/2015 17:00
ENJEUX	13/01/2016 14:50
HISTORIQUE	22/03/2016 12:40
MODELISATION	22/03/2016 12:48
PLU	13/01/2016 14:50
REFERENTIEL	15/03/2016 17:36
TERRAIN	09/07/2015 18:54
ZONAGE_INONDATION	15/02/2016 16:14
ANALYSE_DONNEES_SIG.xlsx	13/01/2016 12:30

4.4 PROJETS SIG

Ce dossier regroupe les projets cartographiques QGIS, faisant intégralement appel aux couches stockées dans la base de données spatiale pour produire les cartographies de l'étude.

Figure n° 24 Structure du dossier Projets SIG



La base de données globale sera mise à jour à chaque phase de l'étude et pourra être transmise à Nantes Métropole à intervalle régulier, toutes les données étant stockées dans une seule et même base.

4.5 DESCRIPTION DU FORMAT ET DE LA STRUCTURATION DES COUCHES SIG PRODUITES DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE

Les couches de fond de plan et du référentiel, ainsi que les couches des emprises inondées existantes n'ont pas été modifiées. Leur structure reste donc inchangée. En revanche, différentes couches seront intégralement produites dans le cadre de la présente étude :

Tableau n° 6 Listing des principales couches SIG qui seront produits dans le cadre de l'étude

Phase	Couche	Commentaires
1	Désordres OASIS	Géocodage du tableur extrait de la base de données OASIS
1	Désordres CRAIOL	Géocodage du tableur extrait de la base de données CRAIOL
2	Hauteur de submersion – T = 100 ans	Couches de hauteurs maximales de submersion pour un événement centennal
2	Vitesse d'écoulement – T = 100 ans	Couches de vitesses maximales d'écoulement pour un événement centennal
2	Emprise – T = 100 ans	Emprise des inondations modélisées pour un événement centennal
2	Emprise – T = 30 ans	Emprise des inondations modélisées pour un événement trentennal
2	Emprise – T = 10 ans	Emprise des inondations modélisées pour un événement décennal
2	Débit pour T=100 ans, T = 30 ans et T= 10 ans	Estimation des débits en différents points clefs du réseau hydrographique pour les événements centennal, trentennal et décennal
3	Aléa de référence – T = 100 ans	Aléa de référence (aléa fonctionnel) pour un événement centennal
3	Couche de synthèse finale des zones inondées	Emprise totale des zones inondables (résultats de la présente étude + zonages existants) pour un événement centennale

Phase	Couche	Commentaires
4	Couches des enjeux	Distinction des zones actuellement urbanisées, à urbaniser et naturelle/agricole à partir des données d'occupation des sols
4	Zonage	Zonage produit en croisant la couche d'aléa à la couche d'occupation du sol du territoire

En compléments de ces principales couches, des couches additionnelles pourront être produites en cours d'étude principalement à des fins de construction du modèle hydraulique comme par exemple : le tracé des sous-bassins versants, la délimitation des obstacles bâtis en zone urbanisée, le découpage des zones de rugosité du modèle, etc...

En termes de structure des tables attributaires, en dehors des champs spécifiques à la thématique de chaque couche (par exemple les champs Classe_H, Classe_V et Classe_A pour respectivement les couches de hauteur, de vitesse et d'aléa), les champs suivants seront systématiquement renseignés.

Tableau n° 7 Structure des tables attributaires des couches SIG

Nom du champ	Type	Commentaires
ID	Entier	Identifiant unique des objets de la couche
Source	Caractère	Source de la couche produite (étude)
MO	Caractère	Maître d'ouvrage de l'étude : Nantes Métropole
Producteur	Caractère	Producteur de la donnée : Prolog Ingénierie
Operateur	Caractère	Initial de l'opérateur ayant produit la couche
Date	Date	Date de production de la donnée
Echelle	Caractère	Echelle maximale de validité des données
Limites d'utilisation	Caractère	Limites d'utilisation de la couche
Commentaires	Caractère	Commentaires sur la couche, sa mise à jour ou autres

De plus, les données produites feront notamment l'objet de deux traitements avant leur transmission aux services du Maître d'Ouvrage :

- 1) **Vérification de la validité des géométries** : la validité des géométries produites sera systématiquement vérifiée, pour éviter les recouvrements, les lacunes, les objets multipartites, ainsi que les auto-intersections. Les erreurs seront corrigées à l'aide d'outils déjà mis en place à l'aide des logiciels GRASS et OPENJUMP notamment ;
- 2) **Saisie des métadonnées** : les métadonnées permettront l'identification de la donnée produite, de sa source ou producteur, des attributs présentés, etc. Ces métadonnées seront renseignées et associées aux fichiers produits sous la forme de fichiers XML en suivant aussi précisément que possible le cadre fixé par la directive INSPIRE.

Enfin, les fichiers SIG produits seront fournis dans un format compatible avec les logiciels SIG exploités par Nantes Métropole, à savoir le format « .tab » et exprimés en mètre dans le système de projection Lambert II Centre (EPSG : 27562). Les projets cartographiques seront eux fournis au format QGIS (.qgs) open source.

ANNEXE 1 : FICHES ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES
