



G2C ingénierie

3 rue de Tasmanie

44115 BASSE GOULAIN

Tel : 02 40 34 00 53

COMMUNE DE PAIMBOEUF DEPARTEMENT DE LA LOIRE ATLANTIQUE



SCHEMA DIRECTEUR ET ZONAGE D'ASSAINISSEMENT DES EAUX PLUVIALES

RAPPORT PHASE 1

Mai 2016

Eveilleur d'intelligences environnementales®

Aix-en-Provence - Arras - Bordeaux - Brive - Toulouse - Nantes - Nancy - Nouméa - Paris - Rouen - Hô-Chi-Minh-Ville – Rabat
Siège : 2 avenue Madeleine Bonnaud- 13770 VENELLES – France - Tél. : + 33 (0)4 42 54 00 68 - Fax : +33 (0)4 42 54 06 78 e-mail : siege@g2c.fr
G2C ingénierie - SAS au capital de 781 798 € - RCS Aix en Provence B 453 686 966 – Code NAF 7112B – N° de TVA Intracommunautaire : FR 75 453 6 966

G2C environnement, G2C services publics et G2C territoires sont des marques commerciales de la SAS G2C ingénierie, filiale du Groupe Altereo.

www.altereo.fr

Ce document est la propriété de G2C ingénierie et ne peut être reproduit ni communiqué à des tiers sans son autorisation - © copyright Paris 2016 G2C ingénierie







Identification du document

Élément	
Titre du document	Schéma directeur et zonage des eaux pluviales
Nom du fichier	Rapport de phase 1
Version	24/06/2016 09:43
Rédacteur	THF
Vérificateur	HUQ
Chef d'agence	SEC





Sommaire

1. PREAMBULE	9
1.1. Rappel des objectifs	9
1.2. Méthodologie.....	9
1.3. Objectif de phase 1	9
2. CONTEXTE COMMUNAL.....	10
2.1. Présentation générale de l'aire de l'étude.....	10
2.1.1. Contexte territorial.....	10
2.1.2. Données socio-démographiques.....	11
2.1.3. Perspectives de développement urbain	12
2.2. Espaces naturels protégés	12
2.2.1. Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique	12
2.2.2. Zones natura 2000	13
2.2.3. Zones humides	13
2.3. Gestion de l'eau	14
2.3.1. Règlementation du SDAGE et du SAGE	14
2.3.2. Risque inondation.....	15
3. MILIEU NATUREL.....	17
3.1. Caractérisation du sol.....	17
3.1.1. Contexte topographique	17
3.1.2. Contexte géologique et pédologique.....	17
3.2. Hydrographie et climatologie.....	18
3.2.1. Contexte hydrographique.....	18
3.2.2. Données climatologiques.....	19
3.2.3. Contexte hydrologique	20
3.3. Caractérisation du milieu récepteur.....	21
3.3.1. Hydrométrie	21
3.3.2. Qualité des masses d'eau	22
4. RESEAU PLUVIAL ET BASSINS VERSANTS.....	23
4.1. Réseau pluvial	23
4.1.1. Caractérisation des axes d'écoulement	23
4.1.2. Recensement des dysfonctionnements	24
4.1.3. Ouvrages	25
4.2. Délimitation des bassins et sous bassins versants	26
4.2.1. Délimitation des bassins versants.....	26
4.2.2. Délimitation des sous-bassins versants	26
4.2.1. Caractéristiques des sous-bassins versants	27
5. ANALYSE QUALITATIVE	28
5.1.1. Localisation des exutoires	28



5.1.2. Eaux de lavage de voiries et eaux claires	28
5.1.3. Eaux de ruissellement.....	28
5.1.4. Eaux de ruissellement de toiture	30
5.1.5. Estimation des rejets de masses de polluant	31
6. MODELISATION DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE.....	34
6.1. Présentation générale de la modélisation.....	34
6.1.1. Présentation du logiciel de simulation	34
6.1.2. Intérêt du logiciel de modélisation.....	35
6.2. Détermination du réseau structurant	35
6.3. Construction du modèle sur Mike Urban.....	36
7. ANALYSE QUANTITATIVE EN SITUATION ACTUELLE DU SYSTEME D'EVACUATION DES EAUX PLUVIALES	38
7.1. Contexte règlementaire	38
7.2. Sollicitations du réseau retenues	38
7.2.1. Pluies de projet.....	38
7.2.2. Conditions hydrauliques et hydrologiques.....	40
7.3. Cartographie des résultats et analyse des principaux dysfonctionnements	40
7.3.1. Résultats : pluie de période de retour 2 ans	40
7.3.2. Résultats : pluie de période de retour 10 ans.....	42
8. CONCLUSION	44
8.1. Bilan phase 1	44
8.2. Suite de l'étude.....	44
ANNEXES	45



Index des figures

Figure 1 : Situation géographique de la ville de Paimboeuf	10
Figure 2 : Evolution de la population communale de Paimboeuf	11
Figure 3 : Evolution du nombre de logements de Paimboeuf.....	11
Figure 4 : Localisation des ZNIEFF sur le territoire de Paimboeuf	12
Figure 5 : Zonages du réseau Natura 2000 sur la commune de Paimboeuf	13
Figure 6 : Localisation des zones humides de la commune de Paimboeuf	13
Figure 7 : Aperçu atlas risque inondation commune de Paimboeuf - Octobre 2013.....	15
Figure 8 : Niveaux marins extrêmes à Saint-Nazaire.....	16
Figure 9 : Relief - commune de Paimboeuf.....	17
Figure 10 : Estuaire de la Loire.....	18
Figure 11 : Températures moyennes mensuelles normales et de l'année 2015 - Station de Nantes	19
Figure 12 : Pluviométrie sur la station Nantes	20
Figure 13 : Débits moyens mensuels de la Loire à Saint-Nazaire	21
Figure 14 : Modules interannuels de la Loire à Saint-Nazaire	21
Figure 15 : Débits d'étiage de la Loire à Saint-Nazaire	21
Figure 16 : Débits de crue de la Loire à Saint-Nazaire.....	22
Figure 17 : Carte de délimitation masses d'eaux côtières de Loire Atlantique	22
Figure 18 : Plan général existant et levés des affleurants de la commune de Paimboeuf	23
Figure 20 : Zone de mise en charge connue	24
Figure 19 : GPS servant aux levés topographiques	24
Figure 23 : Caractéristiques des ouvrages de stockage	25
Figure 21 : Photo Bassin rétention n°1	25
Figure 22 : Photo Bassin de rétention n°2	25
Figure 24 : Aperçu carte des sous-bassins versants.....	26
Figure 25 : Aperçu carte de localisation des exutoires et des bassins d'apport.....	28
Figure 26 : Coefficient pondérateur d'abattement par paramètre de pollution.....	32
Figure 27 : Répartition des masses de MES annuelles.....	32
Figure 28 : Estimation des masses de polluants rejetées.....	33
Figure 29 : Interface du logiciel Mike Urban	34
Figure 30 : Aperçu modèle Mike Urban	37
Figure 31 : Typologie des pluies de projets retenues.....	39
Figure 32 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 2 ans sans contrainte de marée.....	41
Figure 33 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 2 ans avec contrainte de marée.....	41
Figure 34 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 10 ans sans contrainte de marée	42
Figure 35 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 10 ans avec contrainte de marée	42



Index des tableaux

Tableau 1 : Normales annuelles station météorologique de Nantes	19
Tableau 2 : Coefficients de Montana	20
Tableau 3 : Etat des masses d'eaux côtières à proximité de la commune de Paimboeuf	22
Tableau 4 : Caractérisation du type des axes d'écoulement du réseau pluvial de Paimboeuf	23
Tableau 5 : Caractéristiques bassins versants – commune de Paimboeuf.....	26
Tableau 6 : Estimation des masses de polluant rejetées dans les eaux de ruissellement.....	31
Tableau 7 : Périodes de retour de mise en charge et de débordement en fonction du type de couverture....	38
Tableau 8 : Coefficients de Montana utilisés pour le diagnostic	39
Tableau 9 : Caractéristiques des pluies de projet.....	39
Tableau 10 : Modifications apportées aux coefficients de ruissellement pour le diagnostic.....	40
Tableau 11 : Volumes débordés pour les différentes périodes de retour modélisées.....	43



1. Préambule

1.1. Rappel des objectifs

Dans le cadre d'une réflexion globale sur la gestion de son territoire, la commune de Paimboeuf souhaite réaliser un **schéma directeur de gestion des eaux pluviales** et un **zonage pluvial**.

Cette étude doit apporter au maître d'ouvrage les données techniques et financières pour l'aider dans sa gestion des eaux pluviales, en vue d'**optimiser le fonctionnement actuel et les investissements futurs**.

Cette étude a plusieurs objectifs :

- synthétiser et mettre à jour les plans des réseaux pluviaux existants sur le territoire communal ;
- établir un diagnostic du fonctionnement actuel des réseaux pluviaux et d'étudier leur fonctionnement futur (impact des projets d'urbanisation sur les infrastructures existantes) ;
- définir les charges polluantes rejetées au milieu naturel et la sensibilité de ces derniers ;
- proposer des aménagements pour optimiser le fonctionnement du réseau pluvial et réduire les éventuels risques d'inondation ;
- élaborer le zonage d'assainissement pluvial, ainsi que le dossier d'enquête publique.

1.2. Méthodologie

Cette étude sera réalisée en trois phases :

- **Phase 1** : Etat des lieux et diagnostic ;
- **Phase 2** : Etude de l'incidence de l'urbanisation future ;
- **Phase 3** : Elaboration du schéma directeur et du zonage des eaux pluviales ;

1.3. Objectif de phase 1

La **première phase** consiste à établir un **état des lieux général du réseau** à partir des diverses données et études existantes. Il s'agit notamment de comprendre les écoulements, caractériser les bassins d'apport et améliorer la connaissance du réseau via des **investigations de terrain** permettant de collecter les informations suivantes :

- Type de bassin d'apport (urbain, semi-urbain, rural) ;
- Limite des bassins et sous-bassins d'apport intervenant dans l'étude ;
- Caractérisation du sol (pente, type, couverture générale du sol, etc.) ;
- Localisation des exutoires ;

Ces données collectées permettent ensuite d'établir un **diagnostic hydraulique** du réseau pluvial. Le fonctionnement du réseau est modélisé afin de mettre en évidence les insuffisances et les dysfonctionnements de ce dernier en situation actuelle.



2. Contexte communal

2.1. Présentation générale de l'aire de l'étude

2.1.1. Contexte territorial

Commune bordant l'estuaire de la Loire au sein du département de Loire Atlantique, Paimboeuf est située à **environ 40 km** à l'Ouest de l'**agglomération nantaise**.

La commune de Paimboeuf s'étend sur un **territoire urbain de 240 ha** (2,4 km²) et appartient à la **Communauté de Communes Sud Estuaire**. Le territoire communal, dans son intégralité, couvre environ 530 hectares en tenant compte de la superficie de la Loire, sur environ 2,3 km du Nord au Sud et 3 km d'Ouest en Est.



Figure 1 : Situation géographique de la ville de Paimboeuf



2.1.2. Données socio-démographiques

2.1.2.1. Population

Entre 1968 et 1999, la commune de Paimboeuf a vu sa **population diminuer régulièrement** en passant de 3802 habitants en 1968 à 2 762 habitants en 1999. Depuis 1999, la population augmente, le nombre d'habitants en 2015 s'élève à 3 321 soit une **densité de population de 1 384 hab/km²** et une **augmentation de 20,2 %** par rapport à 1999.

L'augmentation de population observée depuis 1999 peut entraîner la mise en place d'aménagements en réponse à la croissance démographique et donc une augmentation potentielle des surfaces imperméabilisées. En termes de **gestion des eaux pluviales**, ceci se traduit par une **augmentation des volumes ruisselés** par temps de pluie d'où la nécessité de prendre en compte cet aspect lors des nouveaux projets d'aménagement.

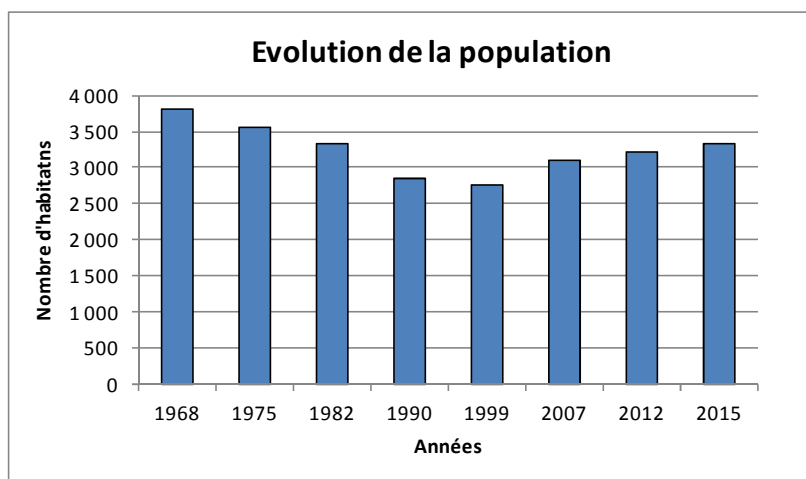


Figure 2 : Evolution de la population communale de Paimboeuf

2.1.2.2. Logements

Le **parc de logements** de Paimboeuf s'accroît depuis 1968 soit un accroissement du nombre de logements de 27,7 % en 40 ans. Entre 1999 et 2012, 187 ont été construits soit un **rythme d'environ 14 logements par an**.

L'**accroissement du parc de logements** est une des conséquences de l'augmentation de population qui peut donc entraîner une **augmentation des volumes ruisselés** par temps de pluie si aucune mesure n'est prise pour **gérer les eaux pluviales** des nouveaux logements mis en place.

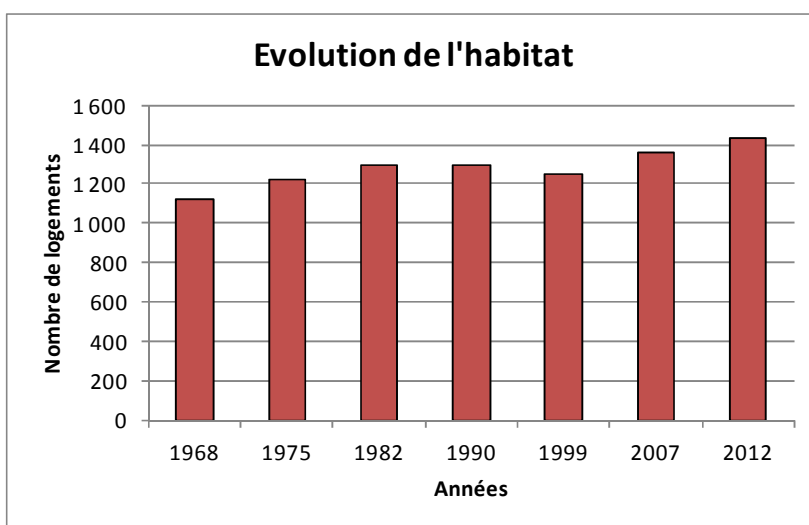


Figure 3 : Evolution du nombre de logements de Paimboeuf



2.1.3. Perspectives de développement urbain

Actuellement en cours de révision, le **plan local d'urbanisme (PLU)** de la commune de Paimboeuf a notamment comme objectif une **maîtrise de l'urbanisation**, qui passe nécessairement par une gestion économe de l'espace et une densification des espaces construits.

2.2. Espaces naturels protégés

La présence d'espaces naturels protégés sur le territoire communal implique des **enjeux qualitatifs** pour les **rejets d'eau pluviale** sur ces zones protégées. La commune de Paimboeuf compte plusieurs **périmètres de protection** de divers types déclinés ci-dessous.

2.2.1. Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

La commune de Paimboeuf est parcourue par **2 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)**. On retrouve parmi ces zones :

- Une ZNIEFF de type 1 n°520006594 - ILE DU MASSEREAU, BELLE-ILE, ILE NOUVELLE, ILE MARECHALE, ILE SARDINE, ILE DU CARNET : Ensemble d'îles et d'anciens bras du fleuve Loire en partie colmatés, constitué de vastes surfaces de prairies humides inondables, des roselières, quelques saulaies et de petites étendues de vasières. Le tout couvrant une surface de 1940 hectares (dont 59 ha sur la commune).
- Une ZNIEFF de type 2 n°520616267 - VALLÉE DE LA LOIRE A L'AVANT DE NANTES : Vaste zone humide estuarienne soumise à marées de 21 471 hectares (dont 146 ha sur la commune).

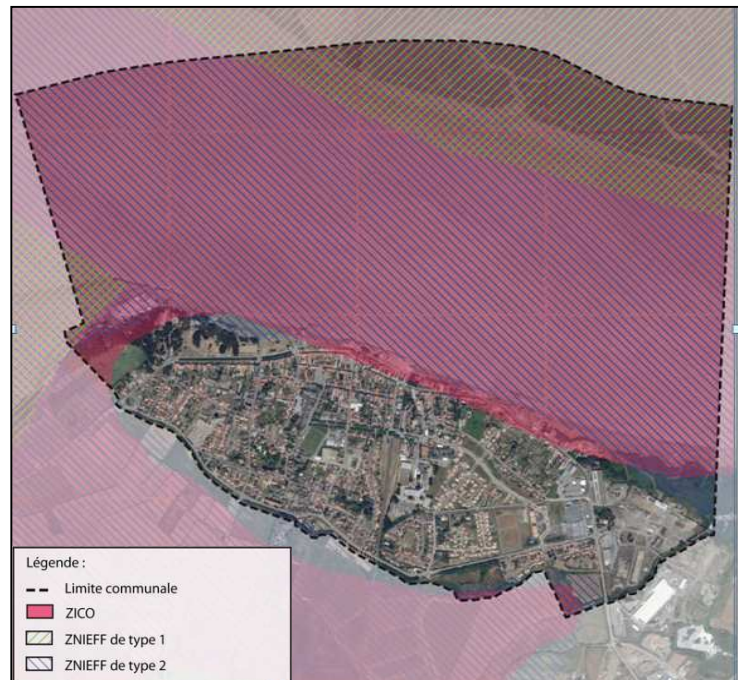


Figure 4 : Localisation des ZNIEFF sur le territoire de Paimboeuf



2.2.2. Zones natura 2000

La commune de Paimboeuf compte plusieurs **sites Natura 2000** sur son territoire notamment :

- Une Zone de Protection Spéciale (ZPS) de 20 162 hectares (dont 133 hectares sur la commune) : prairies semi naturelles, prairies mésophiles, rivières d'eau douce et estuaire, vasières, lagunes
- Une Zone Spéciale de Conservation (ZSC) de 21 726 hectares (dont 91 hectares sur la commune) : vaste ensemble de prairies humides vasières, de prés-salés atlantiques
- Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux (124 hectares sur la commune). *Ce type de zonage n'appartient pas directement au réseau Natura 2000 (et n'a donc aucune portée réglementaire) mais a servi de base à la détermination des ZPS en France.*

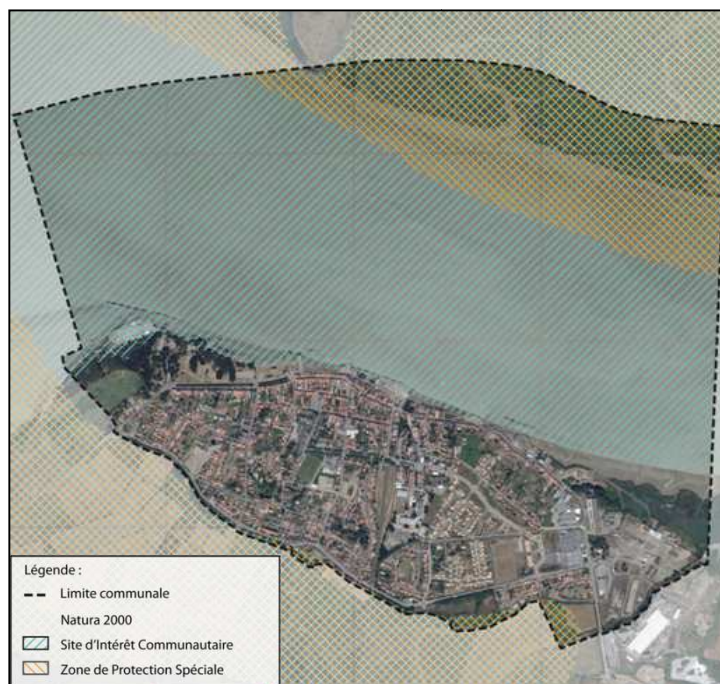


Figure 5 : Zonages du réseau Natura 2000 sur la commune de Paimboeuf

2.2.3. Zones humides

Un inventaire des **zones humides** est en cours de réalisation sur le territoire de la Communauté de Communes Sud Estuaire. Suite à l'inventaire précédent, plusieurs zones humides ont pu être identifiées sur le territoire de Paimboeuf. A noter la présence d'une zone humide d'importance nationale qui borde l'ensemble du territoire communal.



Figure 6 : Localisation des zones humides de la commune de Paimboeuf



2.3. Gestion de l'eau

2.3.1. Règlementation du SDAGE et du SAGE

La commune de Paimboeuf est soumise à la réglementation du **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SDAGE) du bassin Loire-Bretagne et au **Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SAGE) de l'estuaire de la Loire. Ces documents visent à mettre en place une gestion intégrée des eaux pluviales en définissant des règles sur les projets d'aménagement ou de réaménagement urbain :

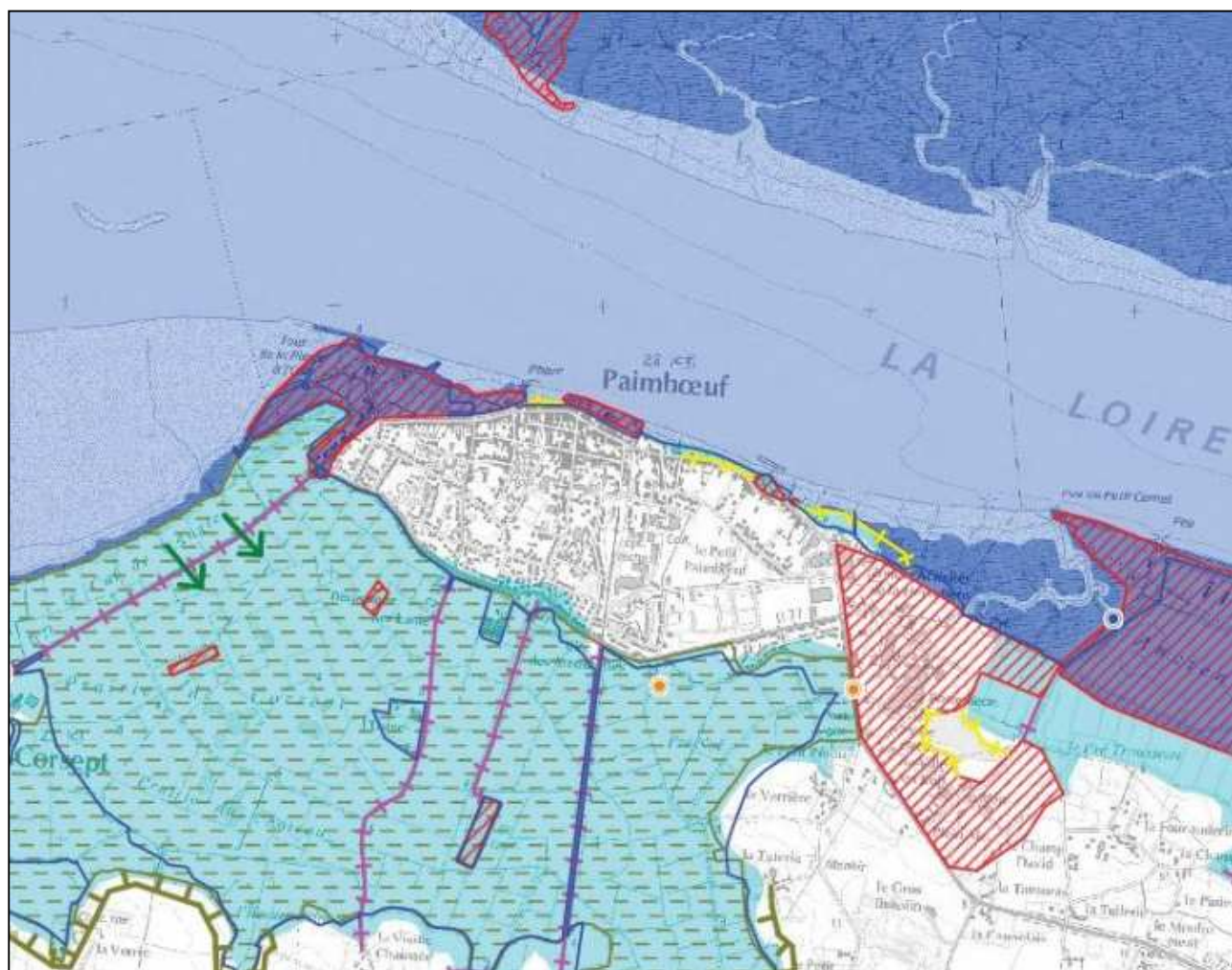
- limiter l'imperméabilisation et l'érosion des sols (cf article 10 du SAGE)
- privilégier l'infiltration lorsqu'elle est possible;
- favoriser la régulation des eaux pluviales à la parcelle;
- faire appel aux techniques alternatives pour éviter le « tout tuyau » (noues enherbées, chaussées drainantes, bassins d'infiltration, toitures végétalisées...);
- traiter les rejets d'eaux pluviales et mettre en place les ouvrages de dépollution si nécessaire;
- réutiliser les eaux de ruissellement pour certaines activités domestiques ou industrielles ;
- Réduire les eaux de ruissellement dans les réseaux d'eaux pluviales et limiter le débit de fuite de nouveaux projets à 3 l/s/ha pour une pluie décennale (jusqu'à 5 l/s/ha d'après l'article 12 du SAGE) ;

Le **Code Général des Collectivités Territoriales** prévoit l'élaboration d'un zonage d'assainissement des eaux pluviales au niveau de l'article L.2224-10 « Les zones où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise du débit et de l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement. »



2.3.2. Risque inondation

Un atlas des **submersions marines de l'Estuaire de la Loire** a été réalisé en Octobre 2013. Cette étude technique a permis d'établir une cartographie des **zones inondables** à partir d'une analyse hydrogéomorphologique sur le tronçon de la Loire entre Saint-Nazaire et Nantes.



Légende

<p>----- secteur d'étude</p> <p>lit mineur</p> <p>lit moyen</p> <p>lit majeur et lit majeur exceptionnel</p> <p>versants marqués</p> <p>zones d'écoulement préférentiel</p>	<p>Remblais</p> <p>infrastructures</p> <p>digues</p> <p>autres (talus, bourrelets...)</p> <p>remblais surfaciques</p>	<p>Principaux ouvrages hydrauliques (données GIP Loire Estuaire)</p> <p>ouvrages primaires</p> <p>autres</p> <p>limites de marais gérés hydrauliquement</p>
---	--	--

Figure 7 : Aperçu atlas risque inondation commune de Paimboeuf - Octobre 2013

[Source : Atlas des zones inondables]

Sur le secteur de la Loire étudié et en particulier au niveau de la commune de Paimboeuf, deux paramètres sont à l'origine des niveaux d'eau importants enregistrés lors d'événements extrêmes :

- Le niveau d'eau à Saint-Nazaire (contribution du niveau marin)
- Le débit de la Loire (contribution fluviale)



Divers études hydrauliques menées sur la partie aval de la Loire ont montré que les niveaux maximaux atteints sont principalement liés aux niveaux marins. Une étude réalisée par le SHOM en 2008 a permis de caractériser les **niveaux marins extrêmes** à Saint Nazaire :

PERIODE DE RETOUR	NIVEAU MARIN (M NGF)
2 ans	3,4 m NGF
10 ans	3,78 m NGF
20 ans	3,87 m NGF
50 ans	3,98 m NGF
100 ans	4,07 m NGF

Figure 8 : Niveaux marins extrêmes à Saint-Nazaire

[Source : Atlas des zones inondables]

Lors de la tempête Xynthia le niveau d'eau a atteint 4,16 m NGF. Il s'agit du niveau maximal observé dont la période de retour dépasse 100 ans d'après les niveaux extrêmes présentés ci-dessus.



3. Milieu naturel

3.1. Caractérisation du sol

3.1.1. Contexte topographique

La commune de Paimboeuf s'étend sur 240 hectares (220 hectares sur la rive gauche et 20 hectares sur la rive droite).

Le territoire communal est concerné par une ligne de crête parallèle à la Loire, peu visible sur le terrain, qui correspond au bombement de roches métamorphiques qui constituent l'île de Paimboeuf. Cette ligne de crête est aujourd'hui urbanisée.

La commune présente un **relief peu marqué** dont les altitudes varient **entre 0 m NGF sur le littoral et 11 m NGF** à l'Ouest du territoire entre la gendarmerie et le château d'eau (point culminant sur le territoire communal).

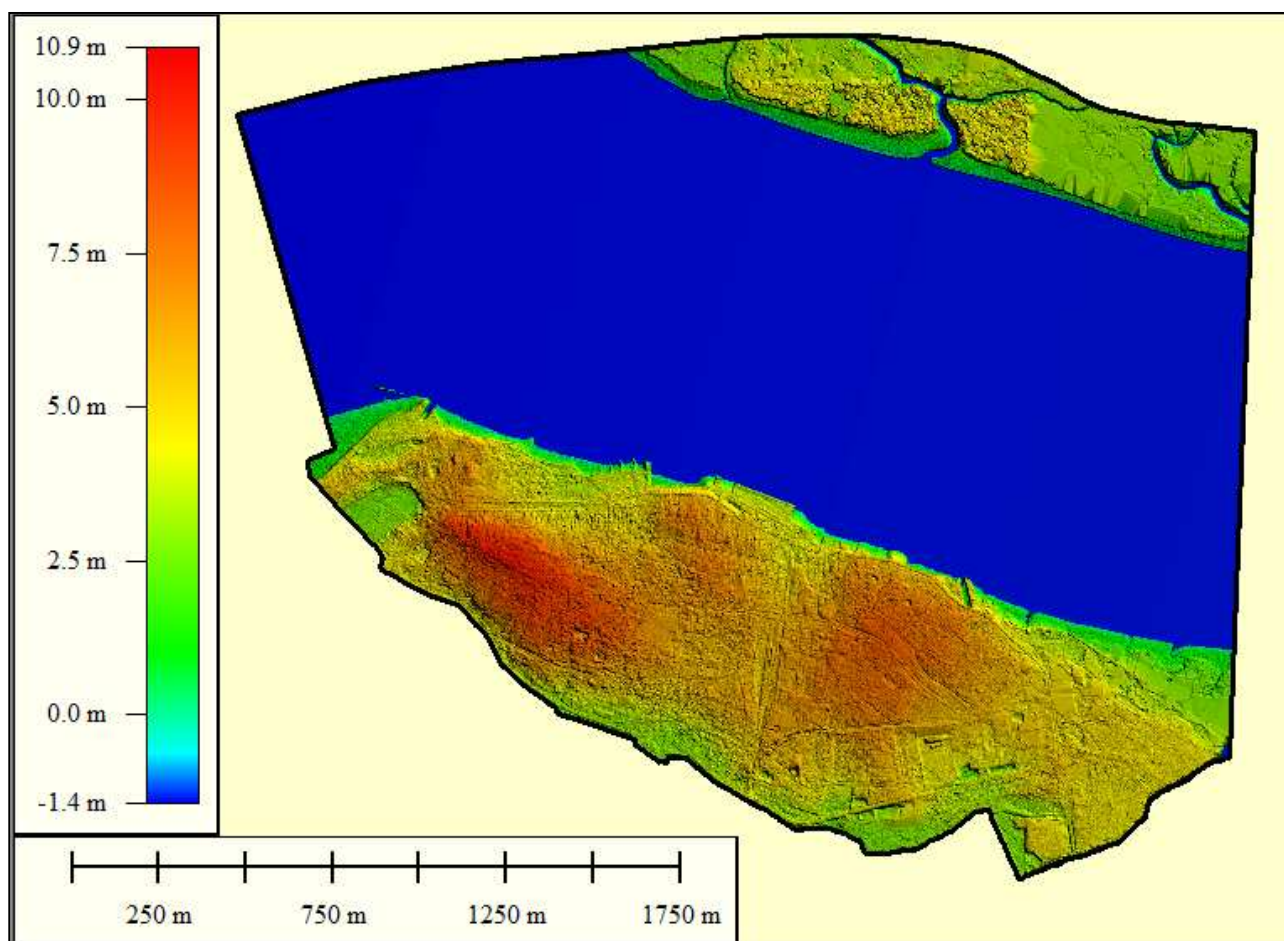


Figure 9 : Relief - commune de Paimboeuf

3.1.2. Contexte géologique et pédologique

Appartenant au massif armoricain, le territoire communal se caractérise par la présence de roches métamorphiques. En limite Sud du territoire, des alluvions fluvio-marines recouvrent ces formations métamorphiques.

Le sous-sol se compose essentiellement de **roches dures imperméables**, offrant peu de potentialité en eau souterraine. Des ressources peuvent exister, mais elles sont très inégalement réparties. La principale formation aquifère est constituée par les alluvions de la Loire qui couvrent une large superficie de la feuille de Paimboeuf.



3.2. Hydrographie et climatologie

3.2.1. Contexte hydrographique

Le territoire communal de Paimboeuf ne présente pas de réseau hydrographique interne. Il est drainé par des réseaux d'eaux pluviales enterrées. La commune se partage entre le versant direct de la Loire au Nord et le versant de l'étier du Pont Tournant dans le marais de Saint-Viaud au Sud.

- **L'estuaire de la Loire**

L'estuaire de la Loire est un élément structurant du territoire communal de Paimboeuf. Le niveau de la Loire est soumis à un régime fluvio-marin, il varie quotidiennement sous l'effet des marées et du débit du fleuve. Cette fluctuation du niveau du fleuve s'accompagne également d'une dynamique sédimentaire complexe sur cette zone.

- **L'étier du Pont Tournant**

L'étier du Pont Tournant délimite la partie sud de la commune de Paimboeuf. Cet émissaire présente une écluse au niveau du franchissement de la RD 723 gérée par un syndicat d'aménagement hydraulique intercommunal. Il relie le marais de Saint-Viaud à la Loire par le ruisseau de l'Aumondière.



Figure 10 : Estuaire de la Loire



3.2.2. Données climatologiques

Le climat de Loire-Atlantique est de type « tempéré océanique ». Les hivers sont doux et les étés sont plutôt frais et relativement humides. L'ensoleillement est important entre mai et octobre. Les écarts thermiques sont peu importants et les précipitations sont réparties sur toute la période de l'année.

Compte tenu de la localisation de Paimboeuf, le climat de la commune est sensiblement le même que celui de l'agglomération nantaise. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 11 à 12°C. Elle varie de 6°C environ en janvier à 19°C environ en juillet-août. L'influence océanique apporte une faible amplitude thermique tout au long de l'année.

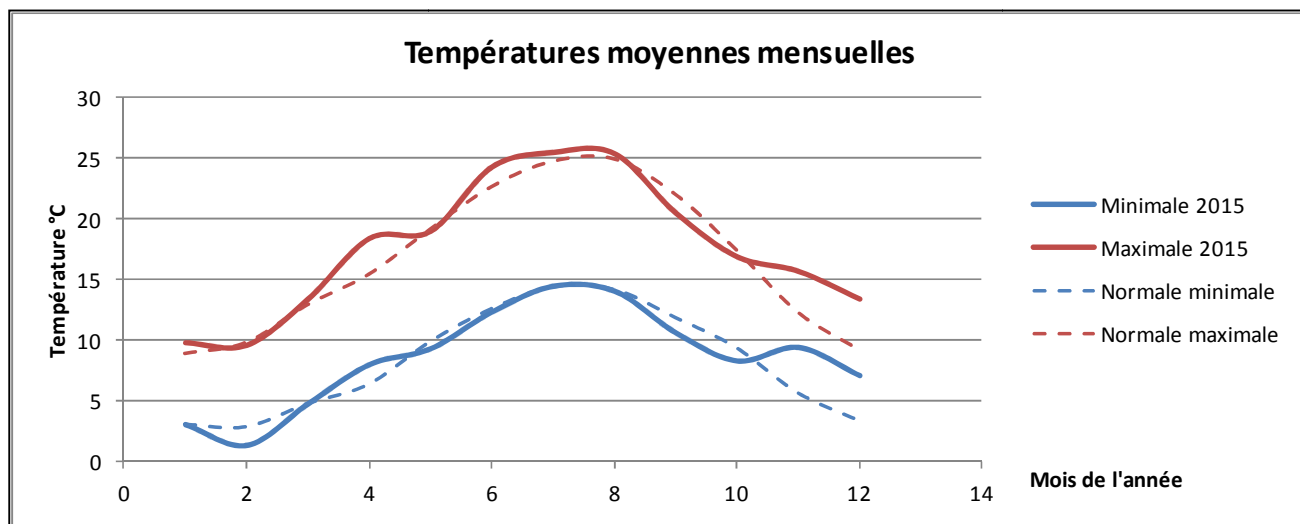


Figure 11 : Températures moyennes mensuelles normales et de l'année 2015 - Station de Nantes

[Source : Météo France]

Les précipitations les plus importantes de l'année sont enregistrées en hiver avec environ 80 à 90 mm de pluie par mois. Les mois les plus secs sont durant l'été avec environ 30 à 40 mm de pluie par mois. Durant la période estivale, la commune encourt un risque léger de sécheresse.

En ce qui concerne l'ensoleillement, une durée de 1 800 heures de soleil par an en moyenne a été enregistrée par la station de Nantes sur la période 1991-2008. En raison de l'influence océanique, le nombre de jours de gel, de neige, ou à l'inverse de forte chaleur est peu élevé.

Température minimale	Température maximale	Hauteur de précipitations	Nombre de jours avec précipitations	Durée d'ensoleillement	Nombre de jours avec bon ensoleillement
1981-2010	1981-2010	1981-2010	1981-2010	1991-2010	1991-2010
8,3 °C	16,7 °C	819,5 mm	119,1 j	1791,3 h	57,6 j

Tableau 1 : Normales annuelles station météorologique de Nantes



3.2.3. Contexte hydrologique

3.2.3.1. Pluviométrie

D'après les normales de Météo France établies sur la période de 1981 à 2010 à partir des données de la station de Nantes située à proximité de la commune de Paimboeuf, la **hauteur moyenne annuelle des précipitations** est de **819 mm**.

L'année 2015 a été moins pluvieuse que la moyenne, le **cumul annuel des précipitations** a atteint **771 mm** soit 48 mm en-dessous du cumul moyen annuel.

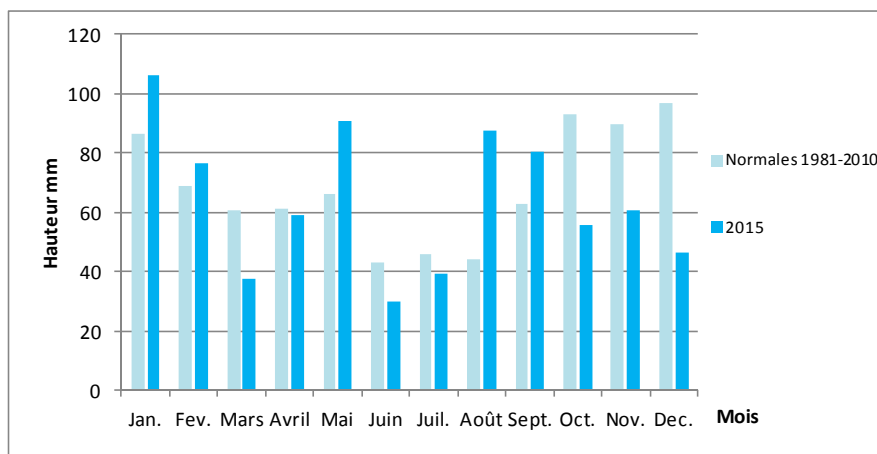


Figure 12 : Pluviométrie sur la station Nantes

[Source : Météo France]

3.2.3.2. Coefficients de montana

Des coefficients de Montana ont été récupérés à partir d'une autre étude existante sur le même secteur. Ces coefficients proviennent d'un ajustement réalisé à partir des observations météorologiques entre 1979 et 2000 de la station de Saint Nazaire. Leurs valeurs, valables pour des pluies de 6 min à 6 h, figurent dans le tableau suivant :

Période de retour (années)	a (mm/min)	b
2	2.85	0.625
10	4.463	0.639
20	5.071	0.642
50	5.828	0.644
100	6.426	0.66

Tableau 2 : Coefficients de Montana

[Source : Météo France]

La formule de Montana permet, à partir des coefficients a et b connus, de relier de manière théorique une quantité de pluie **h(t)** recueillie au cours d'un épisode pluvieux de durée **t** :

$$h(t) = a \times t^{(1-b)}$$

Les quantités de pluie **h(t)** étant exprimées en mm et les durées **t** en minutes.



3.3. Caractérisation du milieu récepteur

3.3.1. Hydrométrie

D'après les données hydrométriques de la station de Saint-Nazaire calculées sur 23 ans, la Loire présente un régime hydrologique soumis à des variations saisonnières comportant une période de basses eaux en été et une période de hautes eaux en hiver.

Durant la **période hivernale**, le débit augmente jusqu'à Janvier où il atteint la **valeur d'environ 1830 m³/s**. Puis il diminue jusqu'à atteindre sa valeur minimale d'environ **250 m³/s en période estivale**.

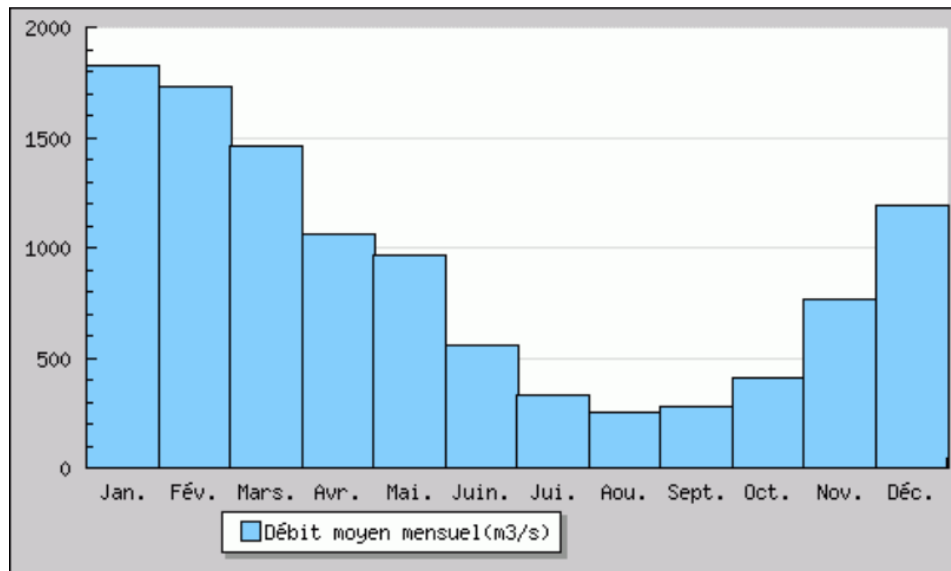


Figure 13 : Débits moyens mensuels de la Loire à Saint-Nazaire

Remarque : Ces valeurs de débits ont été estimées et comporte donc une certaine incertitude d'après le gestionnaire. Néanmoins, elles permettent de fournir un ordre de grandeur des débits mensuels du fleuve.

Ces mesures ont également permis d'obtenir le module interannuel de la Loire (débit moyen annuel) le débit quinquennal sec et humide ainsi que les débits d'étiage et les débits de crue. Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se trouver.

Module (moyenne)	Fréquence	Quinquennale sèche	Médiane	Quinquennale humide
898.0 [789.0;1010.0]	Débits (m³/s)	670.0 [530.0;780.0]	900.0 [760.0;1100.0]	1100.0 [1000.0;1300.0]

Figure 14 : Modules interannuels de la Loire à Saint-Nazaire

Fréquence	VCN3 (m³/s)	VCN10 (m³/s)	QMNA (m³/s)
Biennale	170.0 [150.0;190.0]	170.0 [150.0;200.0]	210.0 [190.0;240.0]
Quinquennale sèche	130.0 [110.0;150.0]	130.0 [110.0;150.0]	160.0 [130.0;180.0]
Moyenne	177.000	183.000	224.000
Ecart Type	58.300	61.200	78.500

Figure 15 : Débits d'étiage de la Loire à Saint-Nazaire

- VCN3 est le débit minimal sur 3 jours consécutifs.
- VCN10 est le débit minimal sur 10 jours consécutifs.
- QMNA est le débit mensuel minimal annuel.



Fréquence	QJ (m3/s)
Biennale	3200.0 [2900.0;3600.0]
Quinquennale	4200.0 [3800.0;5000.0]
Décennale	4800.0 [4300.0;5900.0]
Vicennale	5500.0 [4800.0;6800.0]
Cinquantennale	6300.0 [5500.0;8000.0]

Figure 16 : Débits de crue de la Loire à Saint-Nazaire

- QJ correspond à un calcul de crue utilisant les débits journaliers en entrée.

3.3.2. Qualité des masses d'eau

Les **masses d'eau** constituent le référentiel cartographique élémentaire de la directive cadre sur l'eau (DCE). Ces masses d'eau servent d'unité d'évaluation de la qualité des eaux. La commune de Paimboeuf est délimitée au nord par la masse d'eau de la Loire (code FRGT28) :

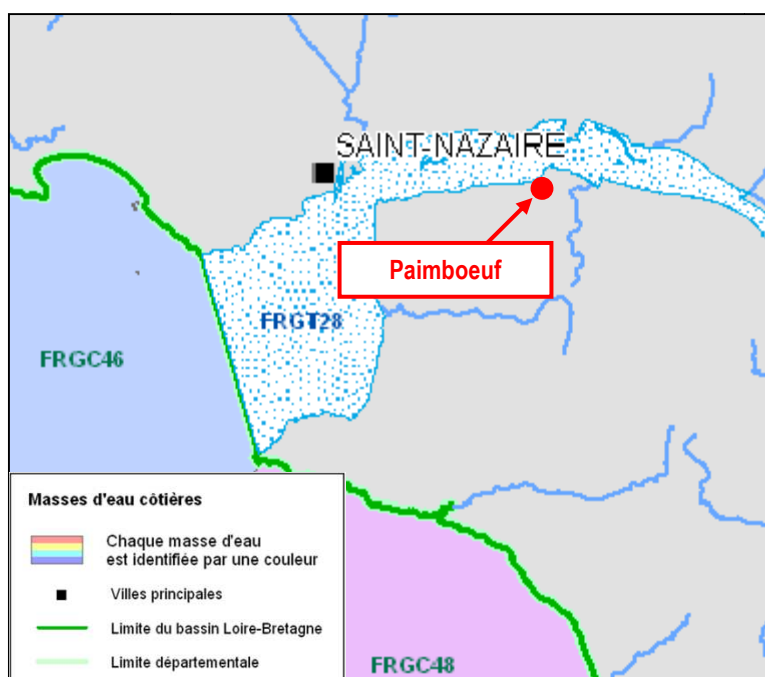


Figure 17 : Carte de délimitation masses d'eaux côtières de Loire Atlantique

[Source : Agence de l'eau]

L'état écologique et chimique de cette masse d'eau a été actualisé en juin 2014 :

Code de la masse d'eau	Libellé de la masse d'eau	Etat écologique 1 : très bon état 2 : bon état 3 : moyen 4 : médiocre 5 : mauvais	Niveau de Confiance : 3 : Elevé 2 : Moyen 1 : faible 0 : inconnu /pas d'information	Etat Chimique 2 = bon, 3 = non-atteinte du bon état, U=inconnu/pas d'information	Niveau de Confiance : 3 : Elevé 2 : Moyen 1 : faible 0 : inconnu /pas d'information
FRGT28	La Loire	3	3	3	2

Tableau 3 : Etat des masses d'eaux côtières à proximité de la commune de Paimboeuf

[Source : Agence de l'eau]

D'après ces données, la masse d'eau de la Loire a été classée en état écologique moyen.



4. Réseau pluvial et bassins versants

4.1. Réseau pluvial

4.1.1. Caractérisation des axes d'écoulement

4.1.1.1. Présentation du réseau

La commune de Paimboeuf est équipée d'un **réseau séparatif**. Au total, **20,5 km** de réseau participant à l'écoulement des eaux pluviales sont connus actuellement. Le réseau de collecte pluviale est principalement constitué de **canalisations enterrées** qui représentent quasi-totalité du linéaire soit 95,6 % avec des diamètres variant entre 125 et 900 mm. Le linéaire restant (4,4%) est constitué d'**axes d'écoulement à ciel ouvert** tels que des fossés.

Type de réseau	Linéaire (km)	Proportion (%)
Réseau enterré	19,64	95,6%
Réseau à ciel ouvert	0,91	4,4%
Total	20,55	100%

Tableau 4: Caractérisation du type des axes d'écoulement du réseau pluvial de Paimboeuf

4.1.1.2. Synthèse des plans existants et numérisation du réseau

Un tracé général du réseau pluvial ainsi qu'un levé de l'ensemble des affleurants a été récupéré auprès de la commune. Une liste de plans existants au format DWG a également été récupérée. L'ensemble des données sur le réseau pluvial obtenues via ces plans ont été analysées et intégrées au plan général du réseau sous SIG.

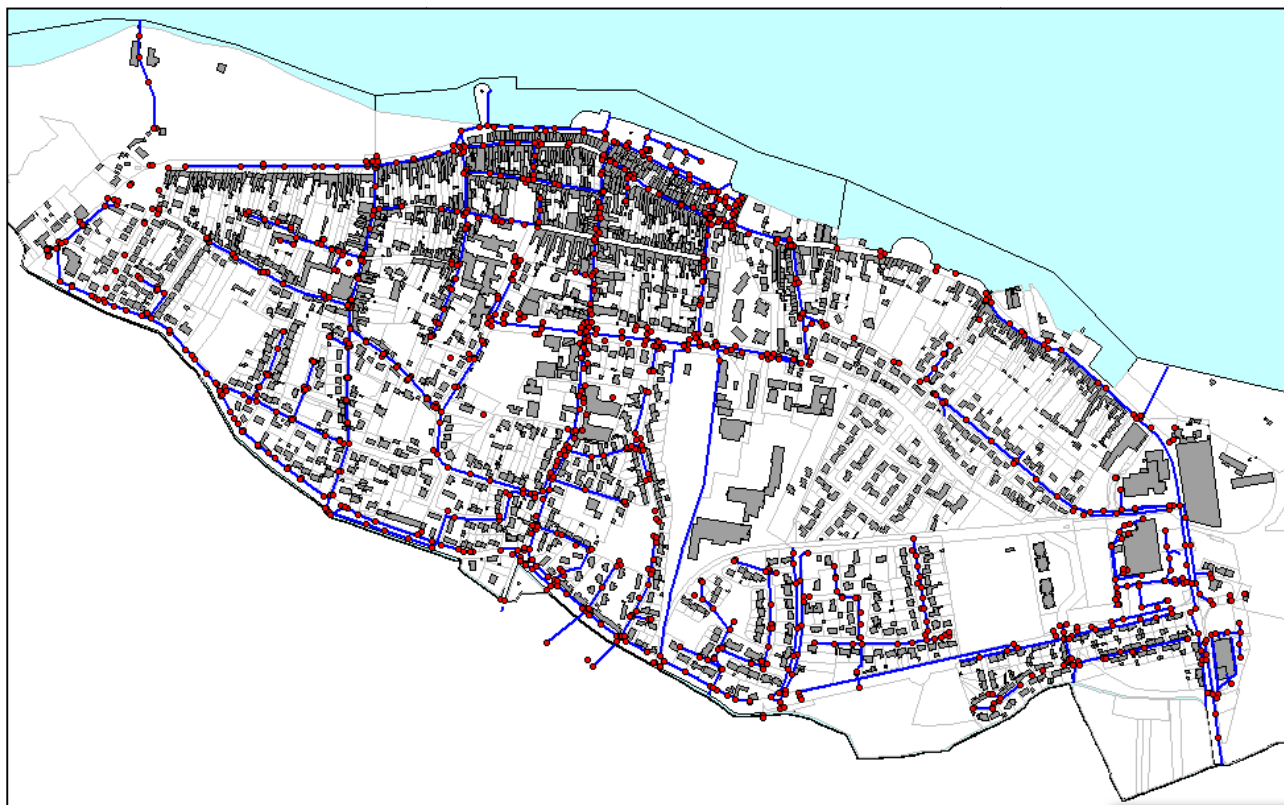


Figure 18: Plan général existant et levés des affleurants de la commune de Paimboeuf



4.1.1.3. Reconnaissance de terrain

A partir des données collectées, des **investigations de terrain en vue de la modélisation du fonctionnement du réseau** ont été réalisées sur **l'ensemble du réseau** afin de collecter, vérifier et compléter les données existantes sur le réseau pluvial en collectant les informations suivantes :

- Sens d'écoulement ;
- Diamètres des canalisations ;
- Sections des fossés ;
- Localisation des exutoires ;
- Profondeur des regards ;
- Levés GPS sur réseau ;
- Recensement des dysfonctionnements.



Figure 19 : GPS servant aux levés topographiques

Le plan du réseau de collecte des eaux pluviales figure en **Annexe 1**.

4.1.2. Recensement des dysfonctionnements

Lors de la reconnaissance de réseau divers dysfonctionnements ont été identifiés. Un point avec les agents de la commune a été réalisé pour recenser les dysfonctionnements connus à ce jour. Le principal problème de la commune de Paimboeuf est lié à la **mise en charge du réseau** par la marée notamment au niveau de la **rue de l'hôpital** (cf figure).



Figure 20 : Zone de mise en charge connue

Trois types de dysfonctionnements ont été recensés au cours des investigations de terrain :

- Rejet par temps sec
- Eau stagnante
- Présence de dépôt

Les dysfonctionnements identifiés ont été localisés comme sur la carte figurant en **Annexe 2**.



4.1.3. Ouvrages

Lors des investigations de terrain, les ouvrages du réseau d'eaux pluviales ont été recensés. Au total, 3 ouvrages de stockage ont été recensés et localisés sur la carte en **Annexe 2**.



Figure 21 : Photo Bassin rétention n°1



Figure 22 : Photo Bassin de rétention n°2

Ces ouvrages ont fait l'objet de levés topographique afin de caractériser leurs dimensions présentées dans le tableau suivant :

ID	Localisation	Dimensions	Caractéristiques hydrauliques	Cotes (m)	Cote entrée (m)	Cote sortie (m)	Description
BR1	Rue de la Coralie	Largeur : 15 m Longueur : 40 m Surface : 650 m ²	Volume : 750 m ³ Q fuite : 40 à 50 l/s	Radier : 3,07 Berge : 3,94	DN 500 : 2,90	DN 400 : 2,78	Bassin tampon enherbé avec ouvrage syphoïde en sortie.
BR2	Boulevard de l'Astrolabe	Largeur : 40 m Longueur : 60 m Surface : 2000 m ²	Volume : 1350 m ³ Q fuite : 40 à 50 l/s	Radier : 1,1 Berge : 3,75	DN 600 : 3,31 DN 500 : 3,1	DN 400 : 2,7	Bassin tampon en eau avec ouvrage syphoïde en sortie.
BR3	Boulevard de l'Astrolabe	Largeur : 15 m Longueur : 40 m Surface : 1500 m ²	Volume : 1150 m ³ Q fuite : 40 à 50 l/s	Radier : 1,1 Berge : 3,72	DN 500 : 3,13	DN 400 : 2,71	Bassin tampon en eau avec ouvrage syphoïde en sortie.

Figure 23 : Caractéristiques des ouvrages de stockage



4.2. Délimitation des bassins et sous bassins versants

4.2.1. Délimitation des bassins versants

Le territoire de Paimboeuf est découpé en **2 bassins versants** qui **séparent la ville dans l'axe Est-Ouest**. Le bassin versant de la partie nord s'écoule vers la Loire tandis que celui de la partie Sud s'écoule vers l'étier du Pont Tournant.

Bassin versant	Surface (ha)	Milieu récepteur
BV1	65,92	La Loire
BV2	79,83	Etier du Pont Tournant
Total	145,75	

Tableau 5 : Caractéristiques bassins versants – commune de Paimboeuf

La carte de la délimitation des bassins versants est disponible en **Annexe 3**.

4.2.2. Délimitation des sous-bassins versants

Une décomposition élémentaire plus fine de ces bassins versants en sous-bassins versants a été réalisée. Ce découpage s'est appuyé à la fois sur la topographie du terrain (lidar), sur le réseau pluvial existant, mais aussi sur la voirie et les parcelles cadastrales. Au total, **115 sous-bassins versants** ont été délimités sur la commune de Paimboeuf.

La carte des sous bassins versants est disponible en **Annexe 4** du présent rapport.

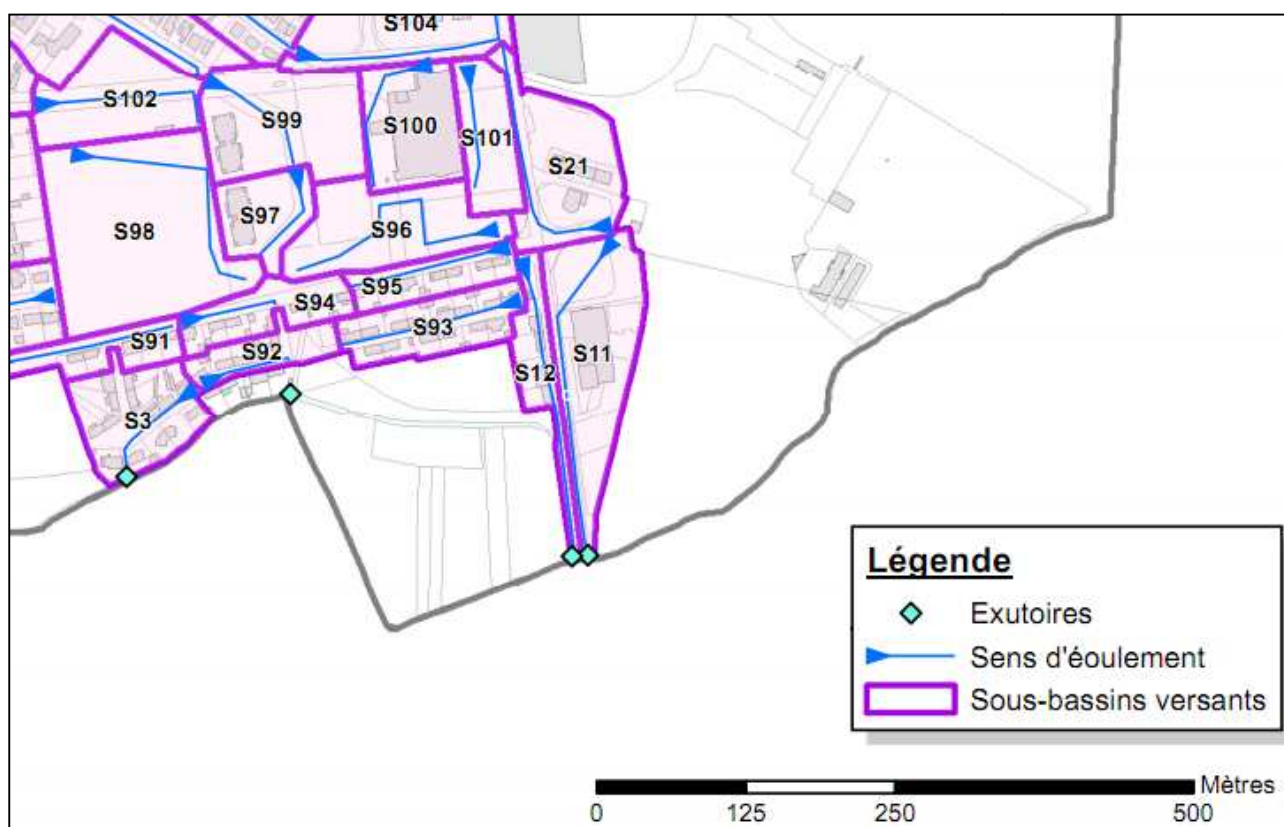


Figure 24 : Aperçu carte des sous-bassins versants



4.2.1. Caractéristiques des sous-bassins versants

4.2.1.1. Calcul des coefficients de ruissellement théorique

Pour caractériser la capacité d'un bassin versant à ruisseler, un indice est très souvent utilisé en hydrologie de surface : le **coefficient de ruissellement** (C_r), défini comme suit :

$$C_r = \frac{\text{Hauteur d'eau ruisselée [mm]}}{\text{Hauteur d'eau précipitée [mm]}}$$

Ce coefficient est fortement influencé par la couverture du sol. Pour chacun des sous-bassins versants, le cadastre numérisé et l'orthophoto ont permis d'établir la surface de bâti, de zones enherbées, de voiries ou de parking. Chaque sous-bassin versant, une fois son **coefficient de ruissellement** déterminé, s'est vu affecté un nœud d'injection qui aboutira à l'injection d'hydrogrammes différenciés aux différents nœuds du modèle construit sous Mike Urban.

La carte des $C_{\text{ruissellement}}$ figurent en **Annexe 5**.

4.2.1.2. Attributs des sous bassins versants

La caractérisation des bassins versants est en cours de finalisation (surface, pente, chemin hydraulique), ces données seront bientôt disponible en **Annexe 6**.



5. Analyse qualitative

5.1.1. Localisation des exutoires

Au total, 24 exutoires principaux ont pu être identifiés sur la commune de Paimboeuf. Ces exutoires ont été localisés sur une carte en **Annexe 7**. Pour chaque rejet localisé, un **bassin de collecte** a été tracé afin de délimiter la surface drainée par le rejet. Cette délimitation a été effectuée à partir du réseau existant, des investigations de terrain et du MNT.

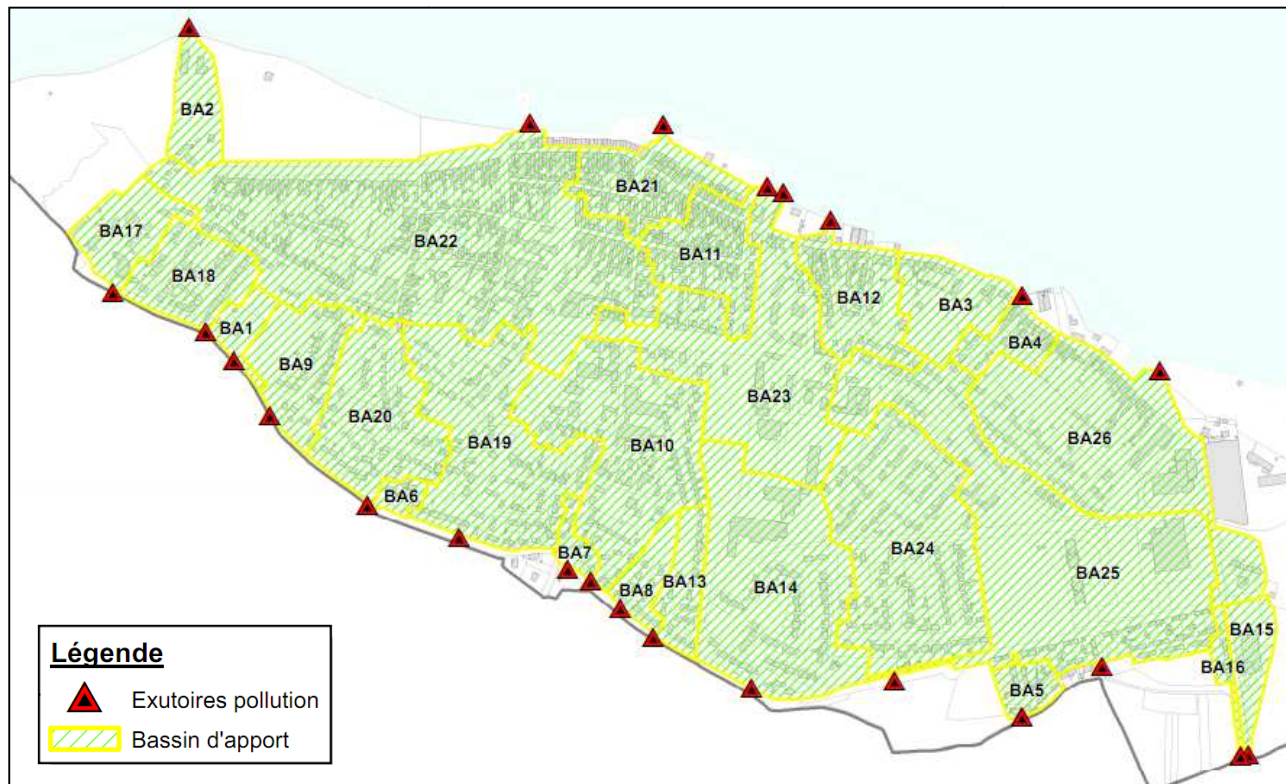


Figure 25 : Aperçu carte de localisation des exutoires et des bassins d'apport

Les diverses sources de pollution de pollution susceptibles de se retrouver aux exutoires présentées ci-dessus sont présentées dans les paragraphes suivants.

5.1.2. Eaux de lavage de voiries et eaux claires

Peu d'informations sont disponibles sur la quantité et la qualité de ces eaux.

Les **eaux claires** sont par définition **peu chargées**, ce qui conduit à une **dilution des effluents**. Cependant, elles induisent une **augmentation des débits** d'écoulement dans le réseau, et donc une **augmentation de la capacité de transport** de l'écoulement.

Les **eaux de lavage de chaussées** (laveuse balayeuse) sont susceptibles de véhiculer le même type de polluants que ceux trouvés dans les eaux de ruissellement de voiries. Ce sont donc une **source potentielle de MES**, mais aussi de **métaux lourds et d'hydrocarbures**.

5.1.3. Eaux de ruissellement

La pollution des eaux de ruissellement urbaines a pour origine d'une part le **lessivage de l'atmosphère**, et d'autre part le **lessivage et l'érosion des surfaces urbaines**.

5.1.3.1. Lessivage de l'atmosphère

La condensation de la vapeur d'eau atmosphérique autour des particules et la solubilisation d'un certain nombre de polluants dans les gouttelettes nuageuses conduit à un **lessivage de l'atmosphère** par les eaux météoriques. Ce lessivage détermine la **pollution de l'eau de pluie** au moment où elle touche le sol, également désignée sous le terme de « retombées atmosphériques humides ».

L'importance de la pollution de l'atmosphère dépend :



- des **sources locales de pollution** atmosphérique ;
- de la **topographie du site** (vallée encaissée ou plaine aérée..) ;
- des **conditions météorologiques** (importance et direction du vent, fréquence des pluies...).

Bien qu'il existe des sources naturelles de pollution atmosphérique (érosion éolienne, éruptions volcaniques, aérosols marins, incendies...), ce sont les **sources anthropiques** qui dominent en milieu urbain. On citera en particulier l'industrie (métaux, résidus pétroliers, micropolluants organiques), les transports, les chauffages collectifs et individuels, la combustion des ordures ménagères et industrielles.

On estime généralement que, pour la plupart des paramètres, 15 à 25 % de la pollution contenue dans les eaux de ruissellement est imputable à la pollution de l'eau de pluie. Cette proportion peut être nettement plus forte pour certains polluants, en particulier les métaux lourds, pour lesquels elle pourrait atteindre 50 à 75 %. D'autres études confirment ces dires et estiment que les retombées humides sont la principale source de présence de métaux dans les eaux de ruissellement.

Remarque : A partir d'un bilan de masse sur quatre événements pluvieux sur un bassin versant expérimental situé près de Londres, il a été noté que la masse de métaux entraînés dans l'eau de ruissellement est inférieure à celle apportée par l'eau de pluie. Ce résultat signifierait qu'une partie des métaux contenus dans les retombées humides peuvent être retenus par les surfaces urbaines.

5.1.3.2. Lessivage des zones urbaines

L'importance de la pollution issue du lessivage des surfaces urbaines dépend :

- du **stock de polluant** disponible sur les surfaces en début de pluie ;
- de la **quantité érodée** par les gouttes d'eau et par l'écoulement ;
- de la **quantité pouvant être transportée** par l'écoulement jusqu'à l'entrée du réseau d'assainissement.

Les **trois mécanismes à prendre en compte** sont donc : l'accumulation du stock de polluants, son érosion et son transport.

Le **stock de polluant** disponible sur la surface est d'origines diverses : retombées atmosphériques sèches, circulation automobile, déchets rejetés par l'homme, animaux, végétation. Chacune de ces origines favorise un certain type de polluant (circulation automobile → hydrocarbure ; animaux → matières organiques ; etc.).

Par ailleurs, certains polluants trouvés dans les eaux de ruissellement peuvent provenir de l'érosion ou de la corrosion par la pluie des surfaces urbaines. On citera en particulier : l'apport de terre, sable et graviers en provenance des surfaces non imperméabilisées, l'apport d'hydrocarbures provenant de l'usure du goudron, l'apport de métaux provenant des surfaces métalliques, notamment les toitures.

5.1.3.3. Mécanisme d'accumulation et d'entraînement sur les surfaces imperméabilisées

• Accumulation

La **masse totale de dépôts présente sur la voirie** est égale à la masse déposée au cours du temps sec moins la masse érodée par le vent, la pluie, la circulation, le nettoyage de la voirie, la biodégradation... ; auxquelles s'ajoute un **stock permanent non mobilisable**. Ce stock permanent, qui représente la fraction de dépôt non érodable par la pluie ou le nettoyage, est fonction de la texture du revêtement. Il sera d'autant plus important que la chaussée est rugueuse et donc capable de piéger une grande quantité de solides dans ses anfractuosités.

Par temps sec et en l'absence de nettoyage, la masse de dépôts présents sur la chaussée augmente suivant un **taux d'accumulation**, égal au taux de sédimentation (masse de solides déposés par unité de temps) moins le taux d'érosion (érosion éolienne essentiellement, mais aussi érosion due à la circulation et pertes par dégradation des dépôts).

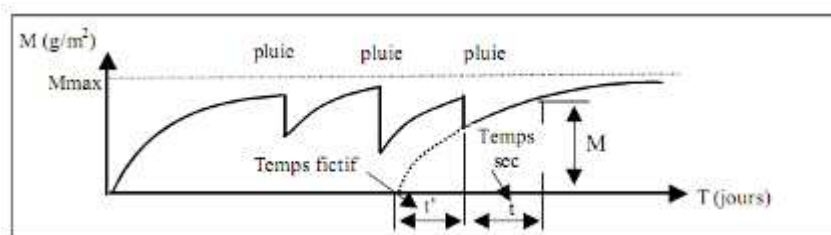
Le **taux de sédimentation** dépend essentiellement du mode d'occupation du sol.

Le **taux d'érosion** par temps sec est quant à lui fonction du stock. Négligeable lorsque le stock est faible, il devient équivalent au taux de sédimentation au bout d'une durée de temps sec très longue. Le taux d'accumulation devient alors nul et la masse totale de dépôt atteint une asymptote, dont la valeur dépend de la nature du revêtement et de son usure.



Ce phénomène est illustré par la figure suivante :

$M(t)$: masse de dépôt mobilisable à l'instant T
 M_{\max} : masse maximale de dépôt mobilisable
 t : durée de temps sec précédente



• Entrainement

La plupart des auteurs s'accordent à dire que **le nettoyage de la voirie ne permet pas une réduction significative des polluants accumulés sur la chaussée**. Le nettoyage de routine pratiqué dans la plupart des villes est efficace contre la pollution visuelle, mais pas pour les particules fines. Il permettrait d'éliminer au maximum 95 à 100 % des débris grossiers, 50 % de l'ensemble des solides, 48 % des particules inférieures à 246 μm et 15 % des particules inférieures à 43 μm . Les expérimentations ont montré qu'un nettoyage à une fréquence de trois fois par semaine conduit au maximum à une réduction de 30% des solides et 40% du plomb contenu dans les eaux de ruissellement.

Au vu des phénomènes qui régissent l'accumulation et l'érosion des polluants, il sera fait comme hypothèse que :

- l'ensemble des paramètres ont la même dynamique d'accumulation et d'entraînement ;
- le processus d'accumulation étant un phénomène asymptotique, il n'y a plus de dépôts supplémentaires après **20 jours de temps sec** ;

Le **modèle d'accumulation des dépôts** le plus répandu est celui proposé initialement par Sartor et Boyd :

$$M(T) = M_{\max} (1 - e^{-k(t+t')})$$

Avec :

$M(t)$: masse de dépôt mobilisable à l'instant T
 M_{\max} : masse maximale de dépôt mobilisable
 k : constante d'accumulation
 t : durée de temps sec précédente
 t' : temps fictif pour lequel on aurait eu $M(T-t-t')=0$

Hypothèse : Au-delà de 20 jours de temps sec, on peut considérer que $M(T) \approx M_{\max}$

5.1.4. Eaux de ruissellement de toiture

Les eaux de ruissellement de toiture ont longtemps été considérées comme peu polluées. Ce n'est que récemment qu'elles ont soulevé l'intérêt des chercheurs.

5.1.4.1. Eaux de toitures et techniques alternatives

Les eaux de toitures représentent environ la **moitié du volume de ruissellement** d'une zone urbaine. Elles sont de ce fait un **enjeu majeur dans le développement des techniques alternatives** à l'assainissement pluvial.

Des **études de caractérisation et de quantification de la pollution** des eaux de toitures ont été menées en vue de :

- leur stockage et leur réutilisation locale, comme eau potable ou comme eau « grise » destinée à l'arrosage, à l'alimentation des toilettes, au lavage des voitures, etc. ;
- leur infiltration dans le sous-sol.

Ces solutions permettent une **réduction considérable du volume de ruissellement**, donc une réduction des risques d'inondation, ainsi que du coût de transport et de traitement des eaux pluviales. Elles ont également un **impact positif sur la gestion de la**



ressource en eau potable, en diminuant la consommation (cas de la réutilisation) ou en réalimentant les nappes (cas de l'infiltration).

En revanche, une bonne connaissance de la qualité des eaux de ruissellement de toiture s'avère indispensable, afin d'évaluer les **risques sanitaires**, ainsi que les **risques de contamination des sols et de pollution des nappes**.

5.1.4.2. Rôle des toitures vis-à-vis de la pollution

A l'heure actuelle, les avis divergent sur le fait que les toitures soient une **source de pollution** ou au contraire une **source de dilution** des rejets urbains de temps de pluie.

Quelques études ont observé une **diminution de la concentration en polluants des eaux de pluie lors de leur ruissellement sur la toiture**. Dans certains cas, les toits agiraient donc comme des puits de pollution. Pour six événements pluvieux, il a été observé des concentrations inférieures dans l'eau de ruissellement d'une toiture en ciment que dans l'eau de pluie. Cette diminution était très marquée pour les métaux lourds, en particulier le plomb et le zinc. Un phénomène similaire a été observé dans le cas d'une toiture en tuiles. Il est attribué à des **processus de précipitation et d'adsorption** sur la toiture.

Deux hypothèses ont été émises sur le **devenir des polluants adsorbés** sur les particules de la toiture : soit ces particules ne sont entraînées que par les fortes pluies, soit elles s'accumulent, sèchent, puis sont érodées par le vent.

Cependant, la plupart des études ont mis en évidence une **importante contamination des eaux de pluie lors de leur ruissellement sur la toiture**. L'apparente disparité des observations semble s'expliquer par un comportement différent des toitures suivant le polluant considéré, suivant le type de toiture et suivant les caractéristiques de l'événement pluvieux.

Les **concentrations métalliques dans l'eau** de ruissellement de toiture résultent de deux processus concomitants et d'effets opposés. L'augmentation du pH (provoquée par la dissolution soit de particules amassées à la surface du toit, soit de matériel composant le revêtement du toit lui-même, en général du CaCO₃) au cours du ruissellement favorise l'adsorption des métaux sur la toiture. En effet, le pH acide des eaux de pluie favorise la désorption et la solubilisation par la lame d'eau ruisselante de certains éléments, notamment les éléments métalliques. En parallèle, des métaux sont relargués de la toiture par lessivage des dépôts et par corrosion des surfaces métalliques. L'importance relative de l'un et de l'autre des phénomènes dépend de l'intensité de la pluie. Pour les pluies de très faible intensité, les toits (exception faite des toitures métalliques) se comportent comme des puits de métaux. Pour une pluie d'intensité plus importante et succédant à une durée de temps sec plus longue, ils deviennent pour la plupart, au moins en début de pluie, source de métaux. D'autre part certains types de revêtement, tels que les feuilles goudronnées, sont de nature hydrophobe, ce qui favorise l'adsorption des composés organiques tels que les HAP.

Le **pH** est un **facteur déterminant** pour la qualité des eaux de ruissellement de toiture. Le pH acide des eaux de pluie favorise la désorption et la solubilisation par la lame d'eau ruisselante de certains éléments, notamment des éléments métalliques. Par ailleurs, le pH des eaux de ruissellement est susceptible d'influencer la répartition des différents polluants entre les phases dissoutes et particulaires.

5.1.5. Estimation des rejets de masses de polluant

Une **estimation des masses de polluants** rejetées au niveau des **exutoires des bassins d'apport** de la commune de Paimboeuf a été réalisée (cf carte en **Annexe 7**). Cette estimation a été établie à partir des chiffres donnés par les services de l'Etat sur la thématique des eaux pluviales dans le cadre de projets d'aménagement.

Nature du polluant*	Masse polluant (kg/ha) Cas effets chroniques (*)		Masse polluant (kg/ha) Cas effets de chocs (**)	
	Rejets pluviaux lotissement - parking - ZAC (Cimp ≤ 60%)	Rejets pluviaux zone urbaine dense - ZAC importante (Cimp > 60%)	Épisode pluvieux de fréquence annuelle	Épisode pluvieux plus rare (2 à 5 ans)
MES	660	1000	65	100
DCO	630	820	40	100
DBO5	90	120	6,5	10
Hydrocarbures totaux	15	25	0,7	0,8
Plomb	1	1,3	0,04	0,09

Tableau 6: Estimation des masses de polluant rejetées dans les eaux de ruissellement

Les masses polluantes annuellement rejetées à l'aval des collecteurs pluviaux sont très variables. Par conséquent, deux types d'analyses sont utilisés pour quantifier la pollution des rejets pluviaux :



- L'analyse des **effets chroniques** basée sur des ordres de grandeur des **masses moyennes annuelles** de polluants en suspension rejetées dans les eaux de ruissellement en **kg/ha de surface imperméabilisée**.
- L'analyse des **effets de choc** basée sur des ordres de grandeurs des masses de polluants en suspension rejetées dans les eaux de ruissellement en **kg/ha de surface imperméabilisée** lors d'un **événement de 6 mois à 5 ans de période de retour**.

A partir des estimations de rejet de polluant du tableau ci-dessus, des masses polluant rejetées par chacun des bassins d'apport ont été calculées pour des effets chroniques et effets de chocs. Les tableaux en page suivante présente les masses de polluants calculées à partir du coefficient d'imperméabilisation calculé pour chaque bassin de collecte.

D'après ces tableaux, les flux de pollutions les plus importants se situent au niveau des exutoires des **bassins d'apport 10, 22 et 26** localisés sur la carte en **Annexe 7**.

A noter que ces masses de polluants calculées sont une **estimation** : l'intégralité de cette pollution ne sera pas retrouvée aux exutoires de la commune, notamment grâce aux bassins de rétention qui permettent un abattement de la pollution plus ou moins grand selon les ouvrages. Afin de prendre en compte l'abattement de ces ouvrages, un **taux d'abattement de 75% des MES, hydrocarbures et Plomb** a été considéré. Pour les paramètres DCO et DBO₅, les **coefficients de pondération** suivant ont été affectés :

Paramètres de pollution	MES	DCO	DBO ₅
Coefficient de pondération moyen	1	0,875	0,925

Figure 26 : Coefficient pondérateur d'abattement par paramètre de pollution

La répartition des masses de polluant pour le paramètre MES pour des effets chroniques (annuels) est présentée sur la carte en Annexe 8 dont l'aperçu figure ci-dessous :



Figure 27 : Répartition des masses de MES annuelles



Estimation des masses de polluants rejetées

				Masse polluant (kg) - Cas effets chroniques (Masse en suspension annuellement rejetées dans les eaux de ruissellement en kg)					Masse polluant (kg) - Cas effets de chocs (Masses en kg véhiculées par les surfaces imperméabilisées pour des événements de 6 mois à 5 ans de période de retour)									
									Épisode pluvieux de fréquence annuelle					Épisode pluvieux plus rare (2 à 5 ans)				
ID	S (ha)	Cimp	S active (ha)	MES	DCO	DBO5	HC totaux	Plomb	MES	DCO	DBO5	HC totaux	Plomb	MES	DCO	DBO5	HC totaux	Plomb
BA1	0,9	16,7%	0,1	94,0	89,7	12,8	2,1	0,1	9,3	5,7	0,9	0,1	0,0	14,2	14,2	1,4	0,1	0,0
BA2	1,6	19,6%	0,3	212,8	203,1	29,0	4,8	0,3	21,0	12,9	2,1	0,2	0,0	32,2	32,2	3,2	0,3	0,0
BA3	2,5	18,2%	0,5	298,5	284,9	40,7	6,8	0,5	29,4	18,1	2,9	0,3	0,0	45,2	45,2	4,5	0,4	0,0
BA4	1,3	32,9%	0,4	272,3	259,9	37,1	6,2	0,4	26,8	16,5	2,7	0,3	0,0	41,3	41,3	4,1	0,3	0,0
BA5	0,8	42,3%	0,4	236,2	225,5	32,2	5,4	0,4	23,3	14,3	2,3	0,3	0,0	35,8	35,8	3,6	0,3	0,0
BA6	0,4	32,5%	0,1	93,3	89,1	12,7	2,1	0,1	9,2	5,7	0,9	0,1	0,0	14,1	14,1	1,4	0,1	0,0
BA7	0,5	37,4%	0,2	135,0	128,9	18,4	3,1	0,2	13,3	8,2	1,3	0,1	0,0	20,5	20,5	2,0	0,2	0,0
BA8	1,1	28,4%	0,3	209,6	200,0	28,6	4,8	0,3	20,6	12,7	2,1	0,2	0,0	31,8	31,8	3,2	0,3	0,0
BA9	2,9	24,8%	0,7	471,6	450,1	64,3	10,7	0,7	46,4	28,6	4,6	0,5	0,0	71,4	71,4	7,1	0,6	0,1
BA10	7,8	35,4%	2,7	1 814,2	1 731,8	247,4	41,2	2,7	178,7	110,0	17,9	1,9	0,1	274,9	274,9	27,5	2,2	0,2
BA11	3,0	54,1%	1,6	1 078,3	1 029,3	147,0	24,5	1,6	106,2	65,4	10,6	1,1	0,1	163,4	163,4	16,3	1,3	0,1
BA12	3,0	40,1%	1,2	806,2	769,5	109,9	18,3	1,2	79,4	48,9	7,9	0,9	0,0	122,1	122,1	12,2	1,0	0,1
BA13	1,5	33,2%	0,5	328,5	313,5	44,8	7,5	0,5	32,3	19,9	3,2	0,3	0,0	49,8	49,8	5,0	0,4	0,0
BA14	9,2	26,5%	2,4	1 609,6	1 536,4	219,5	36,6	2,4	158,5	97,6	15,9	1,7	0,1	243,9	243,9	24,4	2,0	0,2
BA15	1,4	63,6%	0,9	583,5	556,9	79,6	13,3	0,9	57,5	35,4	5,7	0,6	0,0	88,4	88,4	8,8	0,7	0,1
BA16	0,5	41,9%	0,2	129,4	123,5	17,6	2,9	0,2	12,7	7,8	1,3	0,1	0,0	19,6	19,6	2,0	0,2	0,0
BA17	2,0	30,0%	0,6	405,5	387,1	55,3	9,2	0,6	39,9	24,6	4,0	0,4	0,0	61,4	61,4	6,1	0,5	0,1
BA18	2,6	35,0%	0,9	611,9	584,1	83,4	13,9	0,9	60,3	37,1	6,0	0,6	0,0	92,7	92,7	9,3	0,7	0,1
BA19	7,7	27,4%	2,1	1 391,2	1 328,0	189,7	31,6	2,1	137,0	84,3	13,7	1,5	0,1	210,8	210,8	21,1	1,7	0,2
BA20	4,6	28,4%	1,3	866,7	827,3	118,2	19,7	1,3	85,4	52,5	8,5	0,9	0,1	131,3	131,3	13,1	1,1	0,1
BA21	2,9	62,4%	1,8	1 203,8	1 149,1	164,2	27,4	1,8	118,6	73,0	11,9	1,3	0,1	182,4	182,4	18,2	1,5	0,2
BA22	20,2	40,9%	8,2	5 440,4	5 193,1	741,9	123,6	8,2	535,8	329,7	53,6	5,8	0,3	824,3	824,3	82,4	6,6	0,7
BA23	9,0	28,7%	2,6	1 699,3	1 622,0	231,7	38,6	2,6	167,4	103,0	16,7	1,8	0,1	257,5	257,5	25,7	2,1	0,2
BA24	9,1	27,2%	2,5	410,5	538,8	68,6	9,3	0,6	40,4	34,2	5,0	0,4	0,0	62,2	85,5	7,6	0,5	0,1
BA25	14,3	32,1%	4,6	757,0	993,5	126,4	17,2	1,1	74,6	63,1	9,1	0,8	0,0	114,7	157,7	14,0	0,9	0,1
BA26	9,5	36,8%	3,5	2303,0	2198,3	314,0	52,3	3,5	226,8	139,6	22,7	2,4	0,1	348,9	348,9	34,9	2,8	0,3

Présence d'ouvrages de rétention

Figure 28 : Estimation des masses de polluants rejetées



6. Modélisation du fonctionnement hydraulique

Les objectifs et étapes de l'analyse du fonctionnement hydraulique du réseau sont les suivants :

- la construction du modèle hydraulique, par l'intégration des réseaux pluviaux et ouvrages au logiciel de modélisation ;
- l'étude de la réponse hydrologique des bassins versants ;
- l'étude du comportement hydraulique du réseau ;
- le diagnostic quantitatif et qualitatif des réseaux, avec identification des réseaux insuffisants et détermination de l'origine des dysfonctionnements.

Le logiciel Mike Urban permet de construire un modèle capable de simuler le fonctionnement du réseau des eaux pluviales. Les résultats des simulations permettent ensuite d'effectuer les analyses qualitative et quantitative des écoulements.

6.1. Présentation générale de la modélisation

6.1.1. Présentation du logiciel de simulation

Le logiciel informatique utilisé dans le cadre de cette étude est le **logiciel Mike Urban** de la société DHI, outil dédié à la gestion des eaux urbaines (réseau de collecteurs et de distribution) complètement intégré sous Système d'Information Géographique (SIG).

Il permet la gestion des données structurales du réseau, l'interfaçage SIG, la modélisation hydraulique, la visualisation et l'analyse des résultats dans une interface unique.

Mike Urban utilise le **moteur de calcul MOUSE**.

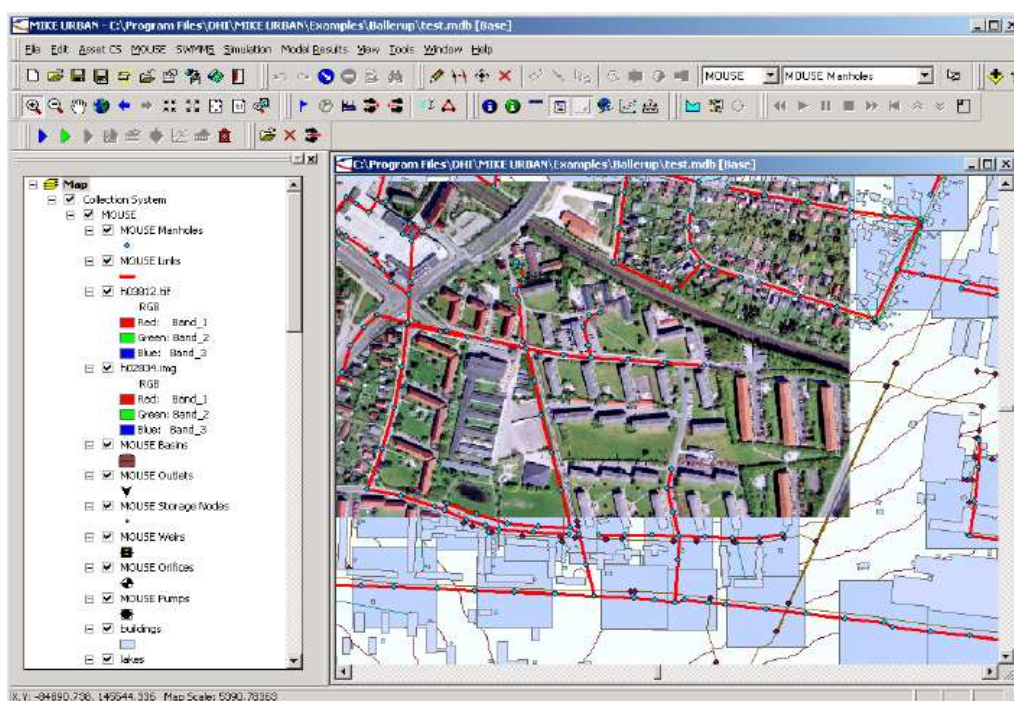


Figure 29 : Interface du logiciel Mike Urban

Fonctionnant sur tous les réseaux de canalisations comprenant des écoulements à surface libre et des écoulements en charge, ce logiciel s'applique aussi bien à des réseaux simples qu'à des réseaux complexes.



Il permet de **modéliser les écoulements en réseau maillé et/ou ramifié** comportant :

- des tronçons d'écoulements en section fermée (circulaire, cadre, ponceau, ovoïde, quelconque) ou naturelle avec lit composé (lit mineur et lit majeur actif),
- des contre-pentes,
- des ouvrages particuliers (déversoirs, ouvrages de régulations statiques et temps réel, ouvrages de rétention à ciel, ponts, ouvrages de décharge, seuils, pompes, etc.),
- des zones de stockage permettant notamment la modélisation du lit majeur passif dans le cas de rivière ou de zone de débordement sans écoulement en pluvial,
- des écoulements en régime fluvial ou torrentiel.

Mike Urban peut **modéliser le fonctionnement de quasiment tous les types d'ouvrages de rétention** à ciel ouvert ou souterrain dont le volume peut être décrit par une loi hauteur-surface ou hauteur-volume, associés à n'importe quel type d'ouvrage de régulation (orifice, déversoir, pompe...) simple ou multiple.

Les calculs résolvant les équations complètes de Barré de Saint Venant ainsi que **les problèmes de mise en charge sont pris en compte** dans les simulations. Les options de calcul permettant, en cas de débordement, la réinjections des volumes débordés dès que la capacité du réseau le permet garantissent la continuité des volumes.

Les puissantes capacités de **représentation des résultats de calcul** (animation, profil en long, cartographie des insuffisances, cartographie des volumes débordés, etc.) permettent d'**aider à l'identification et l'analyse des désordres**.

6.1.2. Intérêt du logiciel de modélisation

D'un point de vue général, la **mise en œuvre d'un modèle** suppose une **schématisation préalable du réseau** (topologie du système d'évacuation des eaux pluviales) et le **découpage de la zone d'étude en bassins versants** d'apport de caractéristiques homogènes, puis la **traduction de cette schématisation** dans le logiciel de simulation Mike Urban.

Une fois calé, un modèle hydraulique permet, pour différentes pluies modélisées, d'**établir un diagnostic fiable du comportement du réseau** face à une pluie, et ainsi de :

- représenter les apports d'eaux claires parasites (injection constante ou variable en fonction de la saisonnalité, sur un ou plusieurs nœuds) ;
- localiser précisément les éventuels débordements ;
- comprendre l'origine de ces désordres hydrauliques (collecteur insuffisamment dimensionné, contrainte aval...) ;
- étudier le comportement des ouvrages existants de décharges (déversoirs d'orage), de rétention (bassin de rétention, bassin d'orage, bassin d'infiltration) ;
- optimiser le fonctionnement des ouvrages (optimisation du stockage...) et infrastructures (limitation des rejets...) existantes ou à créer.

6.2. Détermination du réseau structurant

Seule une partie du réseau principalement située en zone urbaine et incluant les zones de dysfonctionnements fera l'objet de simulations, il s'agit du **réseau structurant**.

Afin d'assurer la cohérence de la modélisation et d'approcher au plus près le comportement réel du réseau, il est nécessaire que les canalisations modélisées soient découpées en **tronçons hydrauliquement homogènes**, c'est-à-dire des tronçons dont les caractéristiques en termes de capacité, de pente et de conditions d'écoulement sont les plus similaires possibles. Ce découpage tient compte de surcroît des points singuliers du réseau (intersection, injection).

Ainsi, plusieurs **regards particuliers sont retenus pour être intégrés au modèle** :

- les regards situés aux intersections ;
- les regards situés au niveau des changements de diamètre des canalisations ;
- les regards au niveau des ouvrages (bassins d'orage, ouvrages de franchissement) ;



- les buses permettant la jonction entre un fossé et une canalisation ;

En outre, sur les longs linéaires de canalisation, il est judicieux de prévoir **un regard tous les 100 m** environ afin d'approcher au mieux le profil de la canalisation et de pouvoir localiser plus précisément les problèmes de débordements éventuels.

Un linéaire de **13 km de réseau structurant** a été identifié et utilisé dans le modèle sur la commune de Paimboeuf. Ce dernier est présenté sur la carte en **Annexe 8**.

6.3. Construction du modèle sur Mike Urban

Le **modèle hydraulique des réseaux pluviaux** de la ville de Paimboeuf a été construit sous Mike Urban.

Au final, le modèle retenu a engendré la **création sous le logiciel Mike Urban** de :

- 394 noeuds ;
- 374 tronçons ;
- 23 exutoires ;
- 115 sous-bassins versants ;
- 3 bassins d'orage ;

Pour chaque catégorie d'éléments, les **entrées de définition** sont les suivantes :

- Nœud et exutoire :
 - Coordonnées X, Y ;
 - Cote TN et cote radier.
- Tronçon :
 - Nœud amont et nœud aval ;
 - Longueur ;
 - Rugosité ;
 - Section (type et dimensions) ;
 - Hauteur de chute amont / aval.
- Sous-bassin versant :
 - Délimitations ;
 - Nœud d'injection dans le réseau ;
 - Longueur du chemin hydraulique ;
 - Pente ;
 - Caractéristiques d'imperméabilisation.

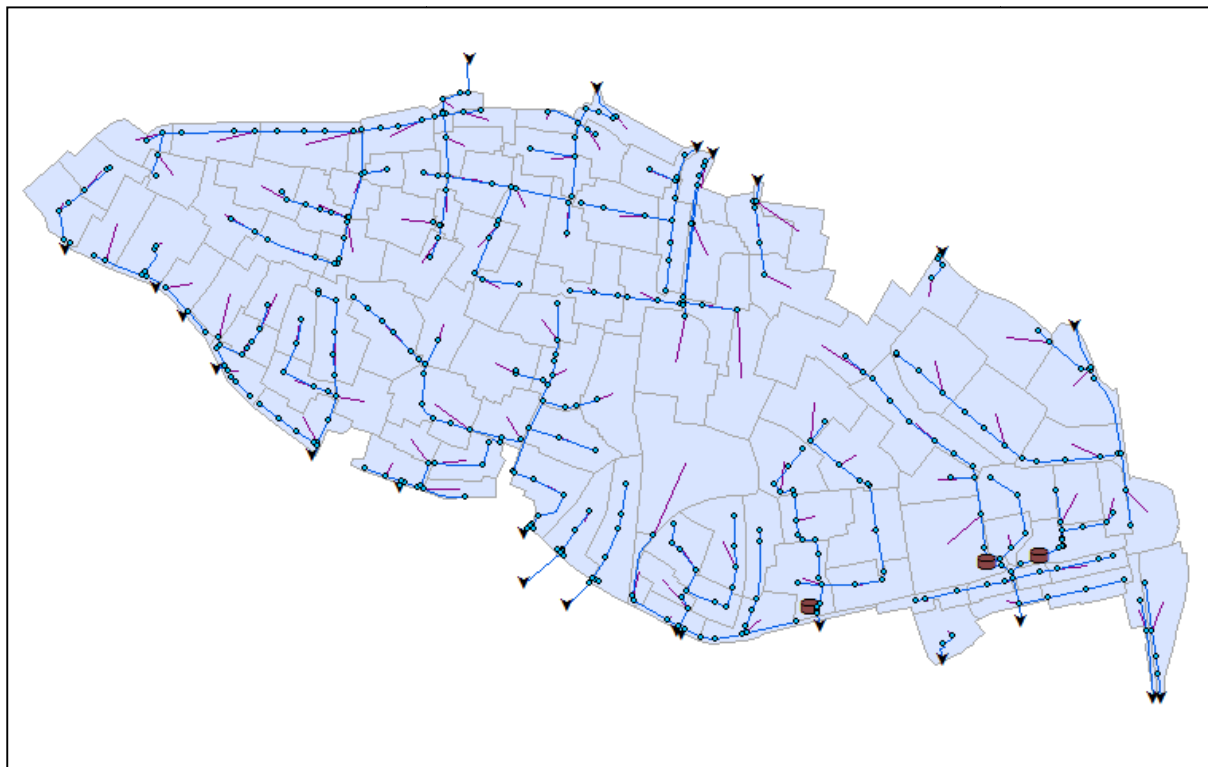


Figure 30 : Aperçu modèle Mike Urban

6.3.1.1. Limite de la modélisation

La modélisation est un outil précieux qui permet d'**approcher le comportement du réseau**.

Néanmoins, il convient toujours de **nuancer les résultats obtenus**. En effet, il est impossible de modéliser le comportement exact des réseaux à surface libre, du fait de la multiplicité des critères entrant en jeu (pluies, coefficients d'imperméabilisation, structure du réseau, données mesurées...) et de leurs interactions au cours de la modélisation.

Cependant, bien qu'il puisse être assujéti à des erreurs, le modèle validé permet d'appréhender **le fonctionnement réel du réseau et de tendre vers un diagnostic exhaustif et représentatif**.



7. Analyse quantitative en situation actuelle du système d'évacuation des eaux pluviales

7.1. Contexte réglementaire

La **maîtrise hydraulique des eaux pluviales urbaines** doit répondre aux objectifs suivants :

- n'engendrer aucune gêne pour les pluies fréquentes ;
- ne pas provoquer d'inondation, ni de risque de dégradation des infrastructures, pour des événements de période de retour de quelques années ;
- limiter les risques aux biens et aux personnes lors des événements exceptionnels pour les périodes de retour variant de une à plusieurs dizaines d'années.

La **norme NF EN 752-2** (1996) relative aux réseaux d'évacuation et d'assainissement a introduit trois notions essentielles :

- le concept d'insuffisance des réseaux doit être précisé, en distinguant notamment les risques de mise en charge et les risques de débordement ;
- le niveau de protection assuré par les ouvrages d'assainissement doit être adapté à la vulnérabilité du site ;
- le concepteur doit utiliser les intensités de précipitation propres à la zone considérée.

La norme propose de retenir les **critères** du tableau suivant, **relatifs aux périodes de retour de mise en charge et à celles de débordement** :

Période de retour	Période de retour sans mise en charge	Période de retour de débordement
Zones rurales	1	10
Zones résidentielles	2	20
Centre ville Zones industrielles ou	5	30
Passages souterrains routiers ou ferrés	10	50

Tableau 7 : Périodes de retour de mise en charge et de débordement en fonction du type de couverture

7.2. Sollicitations du réseau retenues

7.2.1. Pluies de projet

Les pluies de projet retenues sont des **pluies synthétiques de type « DESBORDES »**.

Doublement triangulaire, ce type de pluie est défini par les paramètres suivants :

- durée totale de la pluie et hauteur totale précipitée ;
- position de la période intense sur une abscisse de temps ;
- durée de la période intense et hauteur précipitée sur la période intense.

Deux périodes de retour différentes (2 et 10) sont étudiées.

La discrétisation est effectuée pour un **pas de temps de 2 minutes** sur la durée totale de l'événement pluvieux. En revanche, la modélisation s'effectue à la seconde, pour un maximum de précision des simulations.

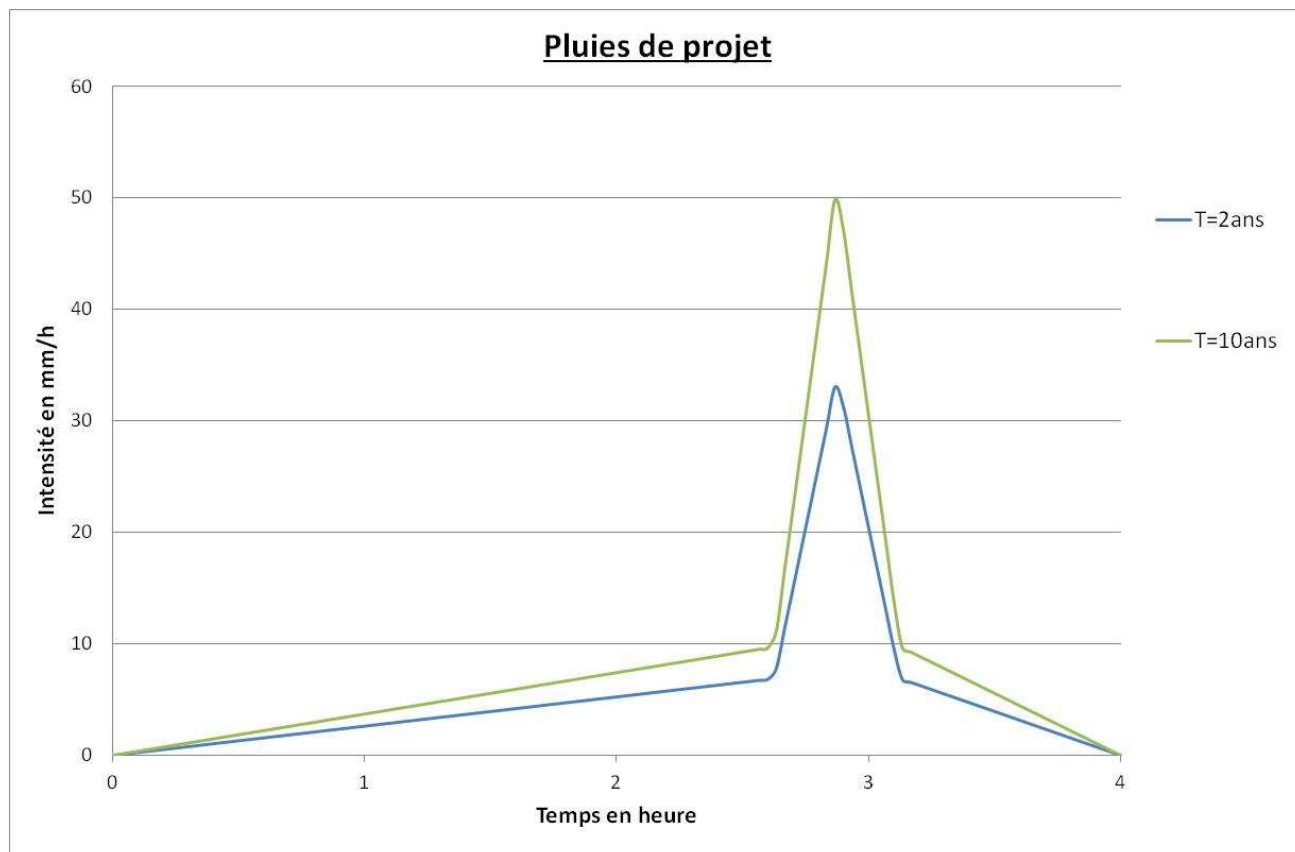


Figure 31 : Typologie des pluies de projets retenues

La **durée totale de la pluie retenue** pour les calculs est de **4 heures**, pour une **durée intense d'une demi-heure**.

Les pluies synthétiques sont construites sur la base des coefficients de Montana de la station de Saint Nazaire pour les périodes de retour 10 ans et 100 ans, et les coefficients de la région 1 de l'instruction technique de 1977 pour la période de retour 2 ans :

Période de retour (années)	a (mm/min)	b
2	2,85	0,625
10	4,463	0,639
20	5,071	0,642
100	6,426	0,66

Tableau 8 : Coefficients de Montana utilisés pour le diagnostic

La **position de la période intense** par rapport à l'épisode pluvieux est **décentrée aux 3/4 de la durée totale** de la pluie, car c'est dans cette position que sont obtenus en règle générale les débits maximaux dans les réseaux (prise en compte optimale de l'effet de stockage en début de pluie dans les collecteurs pluviaux). Ces pluies sont les pluies synthétiques utilisées de manière classique dans le test et le dimensionnement des réseaux pluviaux. Le tableau suivant présente leurs caractéristiques :

Période de retour	2	10
Intensité maximale (mm/h)	33,0	49,8
Intensité moyenne (mm/h)	5,5	8,0
Hauteur totale précipitée (mm/h)	22,3	32,3
Hauteur précipitée pendant la durée intense (mm/h)	9,6	14,4

Tableau 9 : Caractéristiques des pluies de projet



Il est à noter que la hauteur totale de la pluie pendant cette durée de 4 heures a une période de retour inférieure à la période de retour de la période intense.

7.2.2. Conditions hydrauliques et hydrologiques

Des hypothèses hydrauliques et hydrologiques ont été prises en compte pour la simulation des périodes de retour décrites :

- les pertes initiales et le temps de concentration de chaque sous-bassin versant restent inchangés ;
- les coefficients de ruissellement sont augmentés en fonction de la période de retour, afin de prendre en compte la saturation des sols.

Les modifications apportées sont présentées dans le tableau suivant :

Période de retour	2 ans	10 ans
Modification du coefficient de ruissellement par rapport à la situation actuelle	+ 5 points	+ 10 points

Tableau 10 : Modifications apportées aux coefficients de ruissellement pour le diagnostic

7.3. Cartographie des résultats et analyse des principaux dysfonctionnements

Les simulations des pluies de projet ont pour but d'**étudier la capacité des réseaux**, afin de **mettre en évidence les zones où des mises en charge et des débordements risquent de survenir**. Elles permettent également de distinguer les causes de ces dysfonctionnements (insuffisance des collecteurs, influence aval).

Une série de carte **avec et sans contrainte de marée** pour chacune des pluies de projet a été réalisée. Ces cartes sont présentées en **Annexe 9**, elles indiquent les **principaux désordres recensés** pour les différentes pluies modélisées, à savoir :

- les nœuds présentant des débordements, ainsi que les volumes débordés ;
- le taux de remplissage maximal des canalisations ;
- les causes de l'insuffisance des collecteurs ;

7.3.1. Résultats : pluie de période de retour 2 ans

La simulation du fonctionnement hydraulique du réseau pluvial pour une pluie biannuelle (cf **Annexe 9**) a permis de mettre en évidence plusieurs zones de légers débordements au niveau des secteurs suivants :

- Rue Pierre Chevre ;
- Rue des amourettes ;
- Rue des jardins ;
- D723 ;

Le **volume débordé total** sur l'ensemble de la simulation s'élève à **450 m³** avec contrainte de marée et **137 m³** sans contraintes. Bien que les débordements simulés soient faibles, la marée a un impact non négligeable sur le fonctionnement du réseau par temps de pluie.

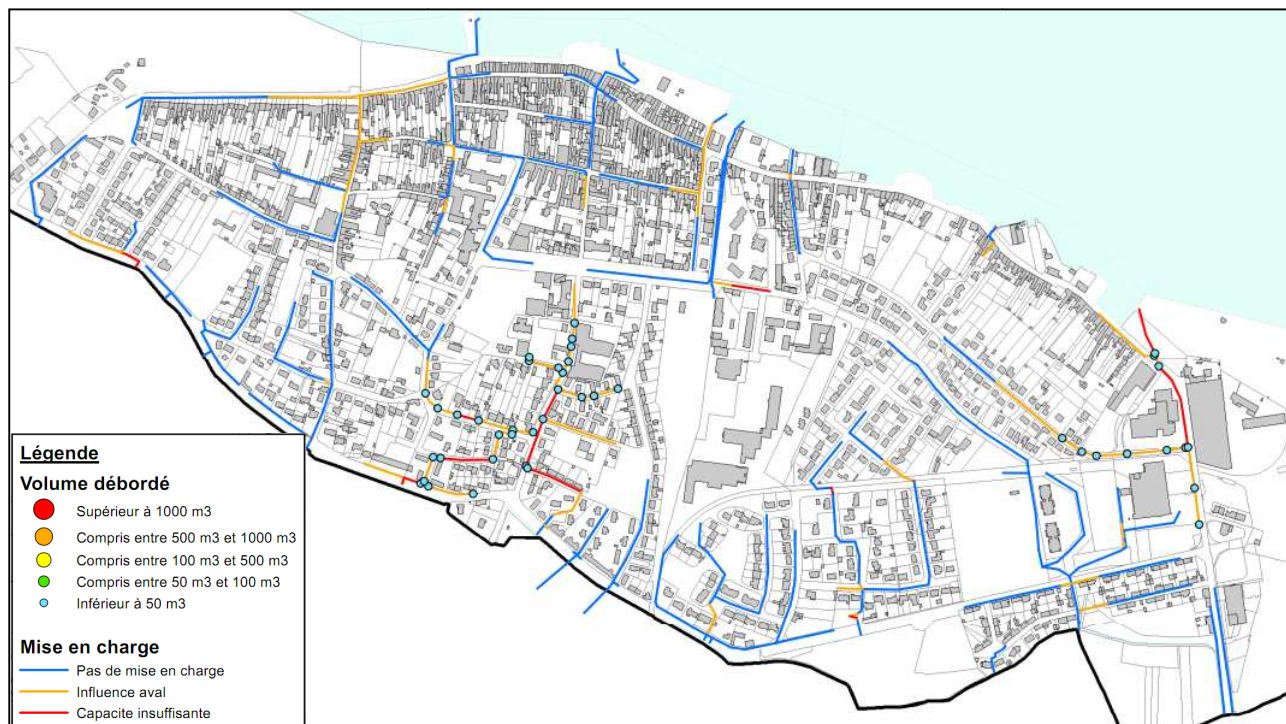


Figure 32 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 2 ans sans contrainte de marée

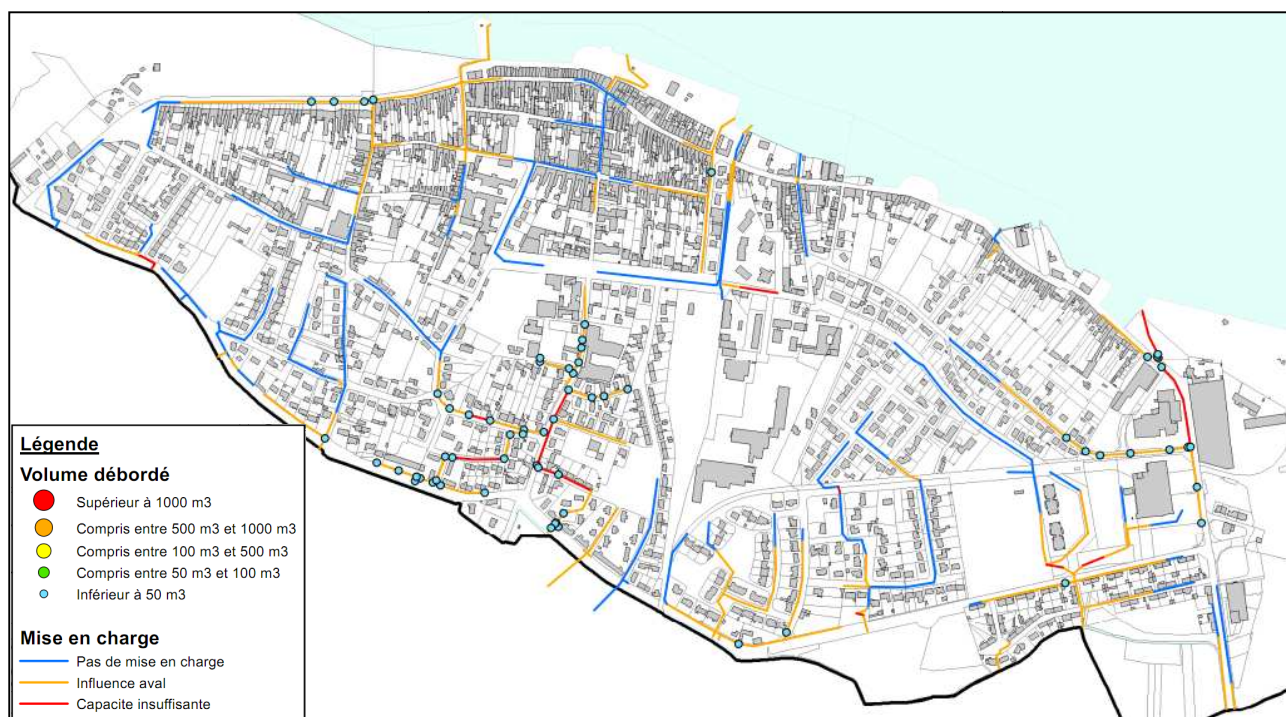


Figure 33 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 2 ans avec contrainte de marée



7.3.2. Résultats : pluie de période de retour 10 ans

Lors de la simulation hydraulique pour une **pluie décennale**, les débordements évoqués ci-dessus ont été légèrement accentués. (cf Annexe 9).

Le **volume débordé total** sur l'ensemble de la simulation s'élève à **1 990 m³** avec contrainte de marée et à 804 m³ sans contrainte de marée. Le débordement local le plus important se situe au niveau de la rue des Goëlands avec un maximum local de **78 m³**.

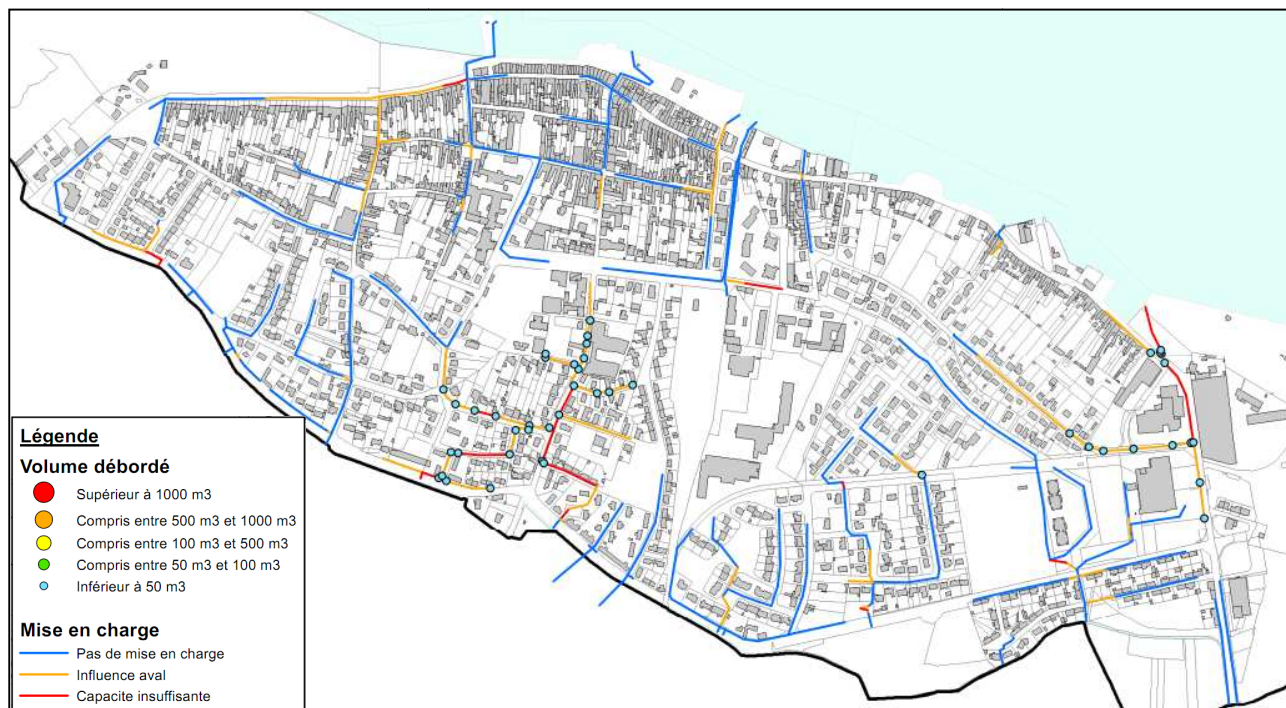


Figure 34 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 10 ans sans contrainte de marée

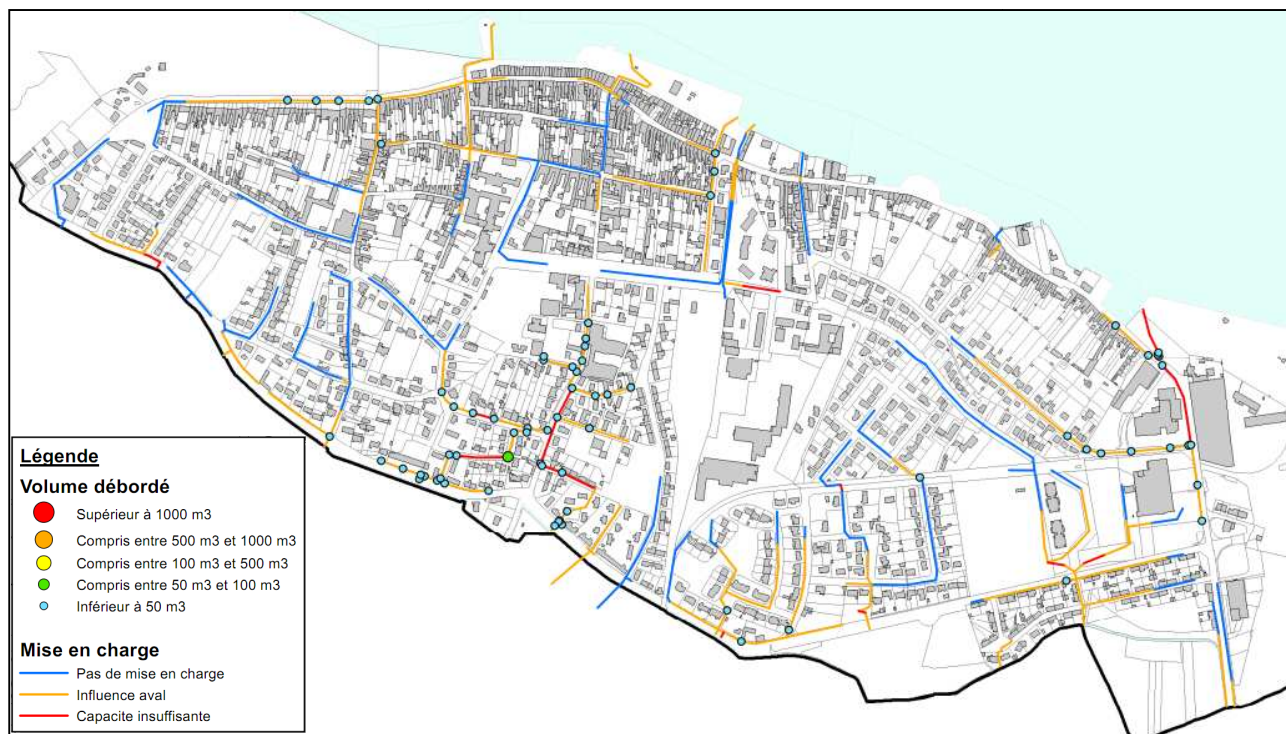


Figure 35 : Résultats diagnostic situation actuelle T = 10 ans avec contrainte de marée



	Volume débordé par période de retour (m ³)	
	T = 2 ans	T = 10 ans
Simulation sans contrainte de marée	137	804
Simulation avec contrainte de marée	450	1 990

Tableau 11 : Volumes débordés pour les différentes périodes de retour modélisées

Compte tenu des résultats, le diagnostic a permis de mettre en évidence les points suivants :

- Absence de gros désordres ou de points noirs sur le réseau pluvial de Paimboeuf ;
- Débordements légers pour des pluies de période de retour de 2 ans et accentuation de ces débordements pour les périodes de retour plus élevées ;
- Risque de débordement principalement dû à des canalisations sous dimensionnées ;
- Un impact de la contrainte de marée non négligeable malgré les faibles débordements.



8. Conclusion

8.1. Bilan phase 1

La première phase a permis d'établir un **état des lieux général et un diagnostic hydraulique** du **réseau de collecte pluvial** de la commune de Paimboeuf à partir de la collecte et l'analyse de données sur les infrastructures de collectes des eaux pluviales et sur le milieu récepteur dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Un relief peu prononcé caractérisé par de **faibles pentes** ;
- Un climat de type océanique doux avec une **hauteur moyenne annuelle** de précipitations égale à **819 mm** ;
- Un **réseau séparatif** principalement enterré s'étendant sur un linéaire de **20,5 km** sujet à de légers débordements par temps de forte pluie au niveau deux quartiers : rue Pierre Chevy et rue des jardins.
- La **contrainte exercée par la marée** au niveau des exutoires engendre une augmentation des volumes débordés par temps de fortes pluies qui restent néanmoins de faible ampleur.

8.2. Suite de l'étude

Les objectifs de la suite de l'étude sont les suivants :

- Réaliser une campagne de mesures qualité sur les exutoires pluviaux par temps de pluie ;
- Etudier l'incidence de l'urbanisation sur les écoulements pluviaux en prenant en compte les perspectives de développement formulées dans le PLU ;
- Proposer des aménagements sur les zones à risque d'inondation par ruissellement pluvial et des préconisations sur les zones à urbaniser.
- Réalisation du zonage pour mettre en place des prescriptions visant à améliorer la gestion des eaux pluviales en milieu urbain.



ANNEXES





ANNEXE 1 : PLANS DU RESEAU PLUVIAL



PLAN A0



ANNEXE 2 : CARTE DE LOCALISATION DES OUVRAGES ET DES DYSFONCTIONNEMENTS



PLAN A0



ANNEXE 3 : CARTE DES BASSINS VERSANTS





ANNEXE 4 : CARTE DES SOUS-BASSINS VERSANTS





ANNEXE 5 : COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT THEORIQUES





ANNEXE 6 : CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS





ANNEXE 7 : CARTE BASSINS D'APPORT ET EXUTOIRES POLLUTION





ANNEXE 8 : REPARTITION DES MASSES DE MES ANNUELLES





ANNEXE 9 : CARTE DU RESEAU STRUCTURANT





ANNEXE 10 : DIAGNOSTIC EN SITUATION ACTUELLE

