Analyse technique de mise en œuvre de la solution digue amovible dans les dispositifs de protection contre les crues

Phase 2 – Projection sur 11 sites du bassin de la Loire et ses affluents

Référence	*Date*	*Rédigé par*	*Vérifié par*	*Statu du document*
1711C1001_02_v4	mai 2018	JR	CH	Version_v3

ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE
2 Quai du Fort Alleaume
CS 55708
45057 ORLEANS CEDEX

SOCOTEC INFRASTRUCTURE
Département Hydraulique et Sols
14 avenue Gustave Eiffel, Montigny le Bretonneux
78182 SAINT QUENTIN EN YVELINES Cedex
infrastructure@socotec.com

Sommaire

1 Introduction 7

2 Puy en Velay 9

2.1 Caractéristique de la zone ... 9

2.2 Localisation du site d'étude ... 9

2.3 Enjeux ... 10

2.4 Analyse de terrain ... 11

2.5 Solutions préconisée ... 13

2.6 Analyse comparative ... 15

3 Vichy 17

3.1 Caractéristiques de la zone ... 17

3.2 Localisation du site d'étude ... 18

3.3 Enjeux ... 20

3.4 Analyse de terrain ... 22

3.5 Solutions préconisées ... 23

3.1 Analyse comparative ... 25

4 Montluçon 27

4.1 Caractéristiques de la zone ... 27

4.2 Localisation du site d'étude ... 27

4.3 Enjeux ... 29

4.4 Analyse de terrain ... 31

4.5 Solutions préconisées ... 33

4.6 Analyse comparative ... 34

5 Charité-sur-Loire 36

5.1 Caractéristiques de la zone ... 36

5.2 Enjeux ... 37

5.3 Localisation du site d'étude ... 37

5.4 Analyse de terrain ... 39

5.5 Solutions préconisées ... 40

5.6 Analyse comparative ... 41

6 Saint-Satur 42

6.1 Caractéristiques de la zone ... 42

6.2 Enjeux ... 43

6.3 Localisation du site d'étude ... 43

6.4 Analyse de terrain ... 45

6.5 Solutions préconisées ... 46

6.6 Analyse comparative ... 48

7 Briare 50

7.1 Caractéristiques de la zone ... 50

7.2 Enjeux 51
7.3 Localisation du site d'étude 51
7.4 Analyse de terrain 53
7.5 Solutions préconisées 55
7.6 Analyse comparative 56
8 Gien 59
8.1 Caractéristiques de la zone 59
8.2 Enjeux 60
8.3 Localisation du site d'étude 61
8.4 Analyse de terrain 63
8.5 Solutions préconisées 64
8.6 Analyse comparative 66
9 Orléans 69
9.1 Caractéristique de la zone 69
9.2 Localisation du site d'étude 70
9.3 Enjeux 71
9.4 Analyse de terrain 73
9.5 Solutions préconisées 74
9.6 Analyse comparative 76
10 Tours 78
10.1 Caractéristique de la zone 78
10.2 Localisation du site d'étude 78
10.3 Enjeux 80
10.4 Analyse de terrain 81
10.5 Solutions préconisées 83
10.6 Analyse comparative 84
11 Saumur 86
11.1 Caractéristiques de la zone 86
11.2 Localisation du site d'étude 86
11.3 Enjeux 87
11.4 Analyse de terrain 89
11.5 Solutions préconisées 90
11.6 Analyse comparative 91
12 Nantes 93
12.1 Caractéristiques de la zone 93
12.2 Localisation du site d'étude 93
12.3 Enjeux 94
12.1 Analyse de terrain 96
12.2 Solutions préconisées 97
12.3 Analyse comparative 98
13 Obligation règlementaire 99
14 Conclusion 100

Liste des figures

Figure 1-1 : Localisation des sites concernés par l'étude 8
Figure 2-1 : Topographie du linéaire à protéger 9
Figure 2-2 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Puy en Velay (Géoportail) 10
Figure 2-3: Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Puy en Velay 10
Figure 2-4 : Tracé alternatif en aval d'habitation 12
Figure 2-5 : Tracé alternatif en aval d'habitation 12
Figure 3-1 : Carte issue des TRI pour inondation fréquente - Vichy 18
Figure 3-2 : Topographie du linéaire à protéger - Vichy 19
Figure 3-3 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Vichy (Géoportail) 20
Figure 3-4 : Caractérisation des populations impactées (INSEE_Vichy) 20
Figure 4-1 : Localisation de la digue amovible avec risque Q100 27
Figure 4-2 : Tracée initiale de Montluçon 28
Figure 4-3 : Tracée alternatif de Montluçon 28
Figure 4-4 : Profil topographique du linéaire à Montluçon 29
Figure 4-5 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Montluçon (Géoportai) 29
Figure 4-6 : Caractérisation des populations impactée (INSEE_ Montluçon) 30
Figure 4-7 : Localisation de la protection à l'arrière des habitations 32
Figure 5-1 :Q50 Charité sur Loire (Diagnostic hydrologique et hydraulique) 36
Figure 5-2 : Q100 Charité sur Loire (Diagnostic hydrologique et hydraulique) 36
Figure 5-3 : Charité-sur Loire proposition d'aménagement 38
Figure 5-4 : Impact hydraulique Q50 charité sur Loire _ Source : Etude des vals de Loire dans lesdépartements du Cher et la Nièvre Diagnostic des risques d'inondation Synthèse ..38
Figure 6-1 : Inondation Q50 Saint-Satur (Diagnostic hydrologique et hydraulique) 42
Figure 6-2 : Proposition d'aménagement – Saint Satur 43
Figure 6-3 : Zone d'inondation crue Q20 et Q70 44
Figure 6-4 : Topographie du linéaire 44
Figure 7-1 : Briare (Diagnostic hydraulique du Gennoie) 50
Figure 7-2 : Altimétrie du linéaire d'étude 52
Figure 7-3 : Localisation de la protection amovible (tracé violet) en aval des habitations (zone vert) 54
Figure 7-4 : Tracé alternatif - Briare 54
Figure 8-1 : Localisation des quartiers de Gien 59
Figure 8-2 : Projection du linéaire de digue amovible de Gien 61
Figure 8-3 : contournement des levées au niveau de Gien- Source Diagnostic des risques d'inondation 62
Figure 8-4 : Altimétrie du linéaire de l'étude 62
Figure 8-5 : Tronçonnage du linéaire de protection à Gien (Etude des scénarios d'aménagement hydraulique) 64
Figure 9-1 : Crues XIXème siècle supérieures à 5.00 m (Rapport de présentation de la cartographie du risque d'inondation par la Loire du secteur d'Orléans) 69

Figure 9-2 : Projection du linéaire de digue amovible sur la carte des enjeux d'Orléans.....70
Figure 9-3 : Profil en long rive droite d'Orléans.....70
Figure 9-4 : Projection de la ligne d'eau des crues sur le profil en long des quai Rive Droite d'Orléans.....71
Figure 9-5 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Orléans (Géoportail).....72
Figure 9-6 : Caractérisation des populations impactée _ données INSEE Orléans.....72
Figure 10-1 : Proposition d'aménagement Hydratec.....79
Figure 10-2 : Linéaire étudié- Tours.....79
Figure 10-3 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Saint Cyr sur Loire (Géoportail).....80
Figure 10-4 : Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Tours.....80
Figure 10-5 : Localisation de la protection amovible (tracée rouge) en amont des habitations (zone orangée).....82
Figure 10-6 : Localisation des deux protections (tracé rouge).....82
Figure 11-1 : Proposition d'aménagement Hydratec.....87
Figure 11-2 : Linéaire étudié - Saumur.....87
Figure 11-3 : Figure 11-4 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Saumur (Géoportail).....88
Figure 11-5 Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Saumur.....88
Figure 11-6 : localisation de la protection à l'arrière des habitations.....90
Figure 12-1 : Localisation du linéaire de protection.....94
Figure 12-2 : Profil topographique Nantes.....94
Figure 12-3 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Nantes (Géoportail).....94
Figure 12-4 : Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Nantes.....95

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Comparatif pour la solution initiale – Puy en Velay 15
Tableau 2-2 : Comparatif pour la solution linéaire alternatif – Puy en Velay 15
Tableau 2-3 : Comparatif pour la solution alternative – Puy en Velay 16
Tableau 3-1 : Tableau comparatif pour la solution initiale Vichy 25
Tableau 3-2 : Tableau comparatif pour la solution alternative Vichy 26
Tableau 4-1 : Comparatif pour la solution initiale – Montluçon 34
Tableau 4-2 : Comparatif pour la solution étendue – Montluçon 35
Tableau 4-3 : Comparatif pour la solution alternative - Montluçon 35
Tableau 5-1 : Enjeux - Charité sur Loire 37
Tableau 5-2 : Comparatif pour la solution initiale – Charité sur Loire 41
Tableau 6-1 : Comparatif pour la solution initiale – Saint Satur 48
Tableau 6-2 : Comparatif pour la solution alternative – Saint-Satur 49
Tableau 7-1 : Enjeux Briare 51
Tableau 7-2 : Comparatif pour la solution initiale – Briare 57
Tableau 7-3 : Comparatif pour la solution alternative - Briare 58
Tableau 8-1 : Enjeux Gien 60
Tableau 8-2 : Comparatif pour la solution initiale pour la longueur concerné par une hauteur de protection de 1.00m – Gien 66
Tableau 8-2 : Comparatif pour la solution initiale pour la longueur concerné par une hauteur de protection de 1.50m – Gien 67
Tableau 8-3 : Comparatif pour la solution mixte initiale – Gien 67
Tableau 8-3 comparatif pour la solution alternative - Gien 68
Tableau 9-1 : Comparatif pour la solution initiale – Orléans 76
Tableau 9-2 : Comparatif pour la solution alternative– Orléans 77
Tableau 10-1 : Comparatif pour la solution initiale - Tours 84
Tableau 10-2 : Comparatif pour la solution alternative – Tours 85
Tableau 11-1 : Comparatif pour la solution initiale – Saumur 91
Tableau 11-2 : Comparatif pour la solution alternative - Saumur 92
Tableau 12-1 : Comparatif pour la solution initiale – Nantes 98

1 INTRODUCTION

L'Etablissement Public Loire s'est engagé depuis fin 2015 dans la co-construction d'un Projet d'Aménagement d'Intérêt Commun (PAIC) des ouvrages de protection contre les inondations sur le bassin de la Loire et ses affluents.

Préalablement, il avait été amené à étudier le rôle que pourraient jouer des digues amovibles dans les dispositifs de protection concertés, dans le cadre d'études de vals de Loire dans le Cher et la Nièvre ainsi que dans le Giennois.

L'EP Loire a souhaité poursuivre cette réflexion, d'une part sur les territoires précédemment étudiés afin de confirmer ou d'adapter les solutions envisagées, et d'autre part sur d'autres sites en Territoires à Risque important d'Inondation (TRI) du bassin de la Loire à identifier.

Cette analyse technique qu'il a confiée à SOCOTEC Infrastructure comporte deux volets :

- L'actualisation de solutions techniques et le recueil des retours d'expérience sur leur utilisation ;
- Une projection sur une dizaine de sites issus des études réalisées et de sites en TRI.

Concernant ce second volet, des premières analyses hydrauliques ont étés réalisées dans le cadre d'études des vals de Loire dans les départements du Cher et de la Nièvre et dans le Giennois (département du Loiret). Cela a permis de mettre en évidence des sites exposés aux débordements directs du fleuve pour des crues relativement fréquentes pour lesquelles la solution protections amovibles pouvait être pertinente. Les 4 secteurs identifiés et concernés dans le cadre de ce rapport sont ceux de la Charité-sur-Loire, Saint-Satur, Briare, et Gien.

Par ailleurs, 14 Territoires à Risque Important d'Inondation (TRI) ont été identifiés dans le cadre de la mise en œuvre de la directive inondation sur le bassin de la Loire et ses affluents. Au vu des enjeux liés aux débordements sur ces territoires, l'EP Loire a identifié en lien avec les intercommunalités concernées 7 sites supplémentaires à étudier. Il s'agit des sites de : Nantes ; Saumur ; Tours ; Orléans ; Montluçon ; Vichy et Le Puy-en-Velay.

Figure 1-1 : Localisation des sites concernés par l'étude

Nous verrons dans la suite de l'étude que la solution de mise en œuvre de digues amovibles peut se révéler très judicieux afin de protéger efficacement les zones sensibles et présentant des enjeux importants.

La majorité des solutions de protection amovibles permettent également de conserver les atouts paysagers et urbanistiques des sites protégés car elles sont temporaires. Cependant, sur certains secteurs qui présentent des zones protégées à fort risque, il pourra être proposé des aménagements génie civil ou géotechniques qui assureront la stabilité des batardeaux amovibles. Les aménagements qui seront proposés veilleront à s'intégrer au maximum au paysage et aux mobiliers urbains déjà présents sur la zone.

Pour chaque secteur, il sera étudié, pour différentes occurrences de crue et leur hauteur correspondante :

- Les enveloppes des scénarios de crues prises en compte dans l'analyse ;
- L'emplacement et le linéaire de protection ;
- Les hauteurs d'eau au droit de l'aménagement pour les différents scénarios de crues ;
- Les enjeux protégés et les dommages évités ;
- Les caractéristiques de l'ouvrage ;
- Le coût de l'aménagement ;
- Le temps de mise en œuvre.

Pour réaliser cette étude, SOCOTEC Infrastructure s'est appuyé sur les différentes études hydrauliques et règlementaires des secteurs étudiés. Pour affiner l'analyse des sites retenus, SOCOTEC Infrastructure s'est rendu sur place afin de constater les problématiques de protection locale et d'évaluer au mieux les préconisations envisageables.

2 PUY EN VELAY

2.1 Caractéristique de la zone

Trois bassins versants significatifs marquent le territoire de l'Agglomération : le bassin versant de la Loire, celui de la Borne et celui du Dolaizon.

Chacun de ces bassins obéit à un événement pluvieux spécifique. Ainsi, les crues sur la Loire sont principalement liées aux événements météorologiques de type cévenol alors que les crues sur la Borne surviennent d'avantage lors de pluies intenses de type océanique. Quant à la crue du Dolaizon, elle peut accompagner les pluies océaniques, cévenoles, ou tout aussi bien se manifester lors d'un orage localisé. (Source : Projet de stratégie locale de gestion des risques d'inondation de l'agglomération du Puy-en-Velay).

La formation des crues suit le processus suivant : précipitations intenses à l'échelle du bassin versant, puis ruissellements de l'eau sur les pentes importantes du relief et augmentation très rapide du débit de pointe.

Les crues se caractérisent donc ici par un temps d'apparition très court, de l'ordre de quelques heures, des vitesses d'eau élevées combinées à une forte hauteur d'eau mais une durée de submersion brève.

Le territoire de l'agglomération du Puy-en-Velay est également sillonné par un réseau de ruisseaux secondaires.

Leur faciès torrentiel et leur petit bassin versant les rendent réactifs aux orages, et susceptibles de débits de pointe pouvant localement provoquer des dégâts.

Là encore, bien que les masses d'eau soient plus faibles, on retrouve les caractéristiques de l'inondation sur le territoire : soudaine, violente et brève.

2.2 Localisation du site d'étude

La zone d'étude commence au croisement entre la N88 et la D103 sur l'avenue des Champs Elysées. La zone à forts enjeux commence au niveau du magasin Intermarché et contourne une zone d'habitation. Toute la zone en amont a un risque d'être impactée dès la crue de période de retour de 30 ans.

La hauteur de protection préconisée se base sur la hauteur de PPRI (compris entre 1 et 2 m).

Le profil topographique est le suivant :

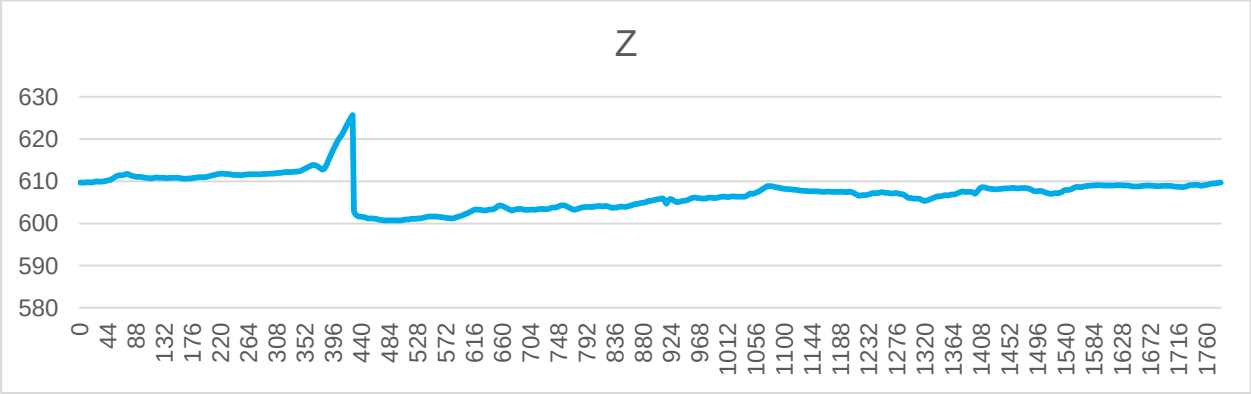


Figure 2-1 : Topographie du linéaire à protéger

2.3 Enjeux

Il n'existe pas d'étude détaillée des enjeux de cette zone. Néanmoins une analyse sommaire montre la présence de :

- habitations,
- lieux d'enseignement,
- zone commerciale.

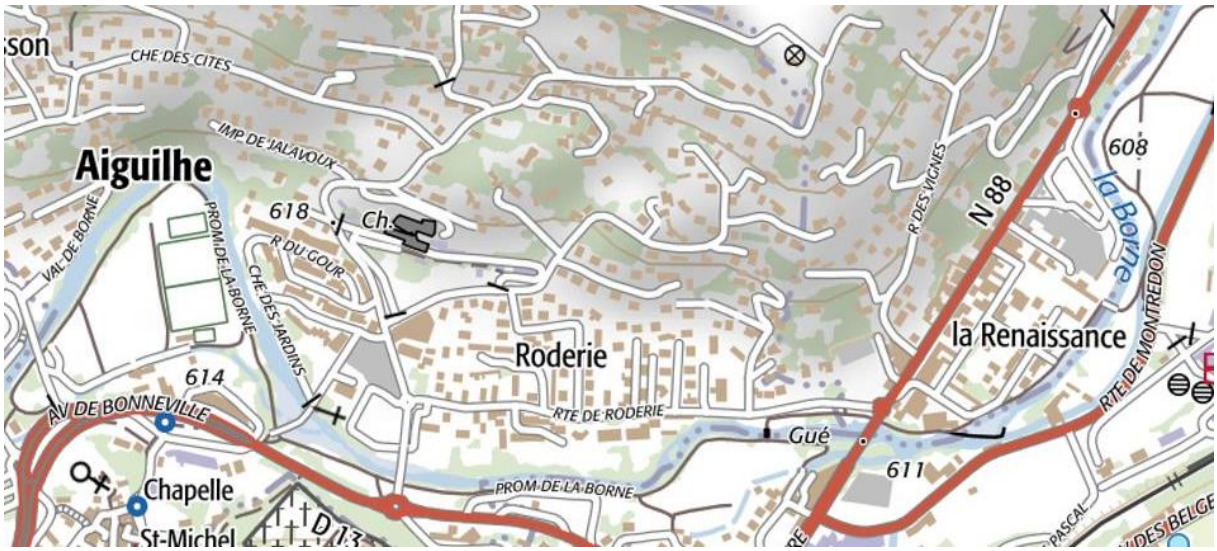


Figure 2-2 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Puy en Velay (Géoportail)

SOCOTEC infrastructure a réalisé une analyse des données SIG de l'INSEE. L'INSEE a réalisé un quadrillage de 200 m de coté qui comptabilise la population selon le dernier recensement effectué. L'analyse montre que 253 personnes sont touchées lors d'un épisode moyen.

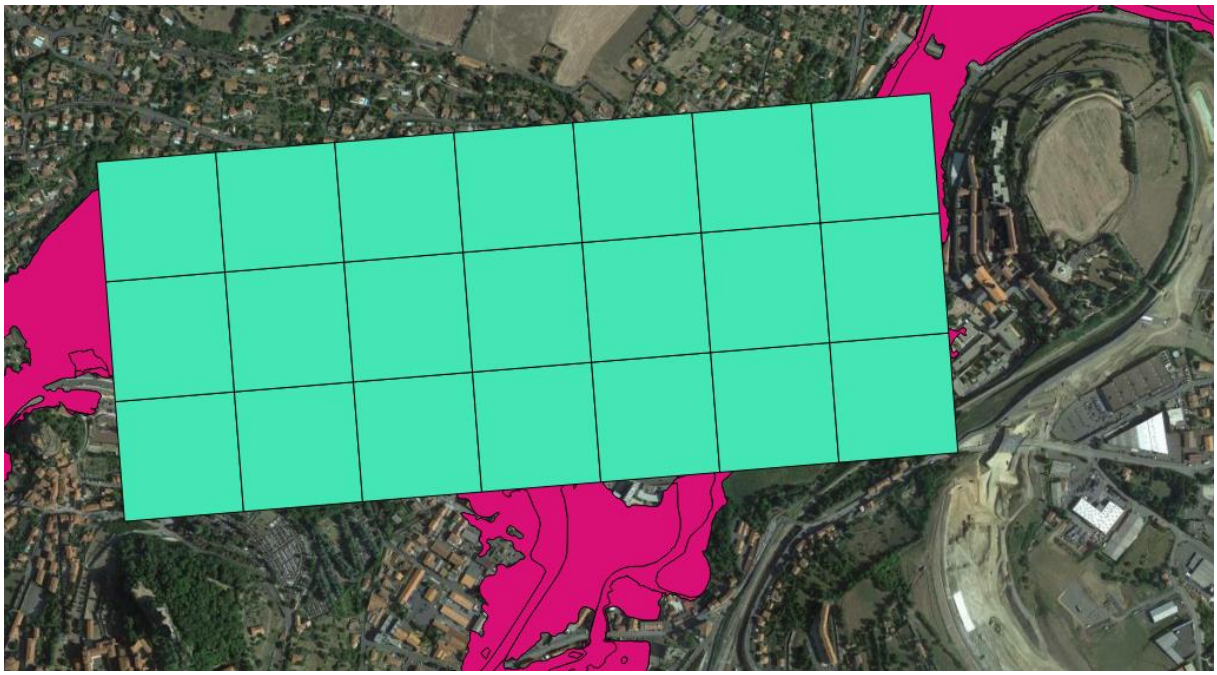


Figure 2-3: Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Puy en Velay

Il conviendrait d'ajouter à cette analyse sommaire une étude détaillée sur les enjeux protégés par les systèmes de protection amovibles.

2.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

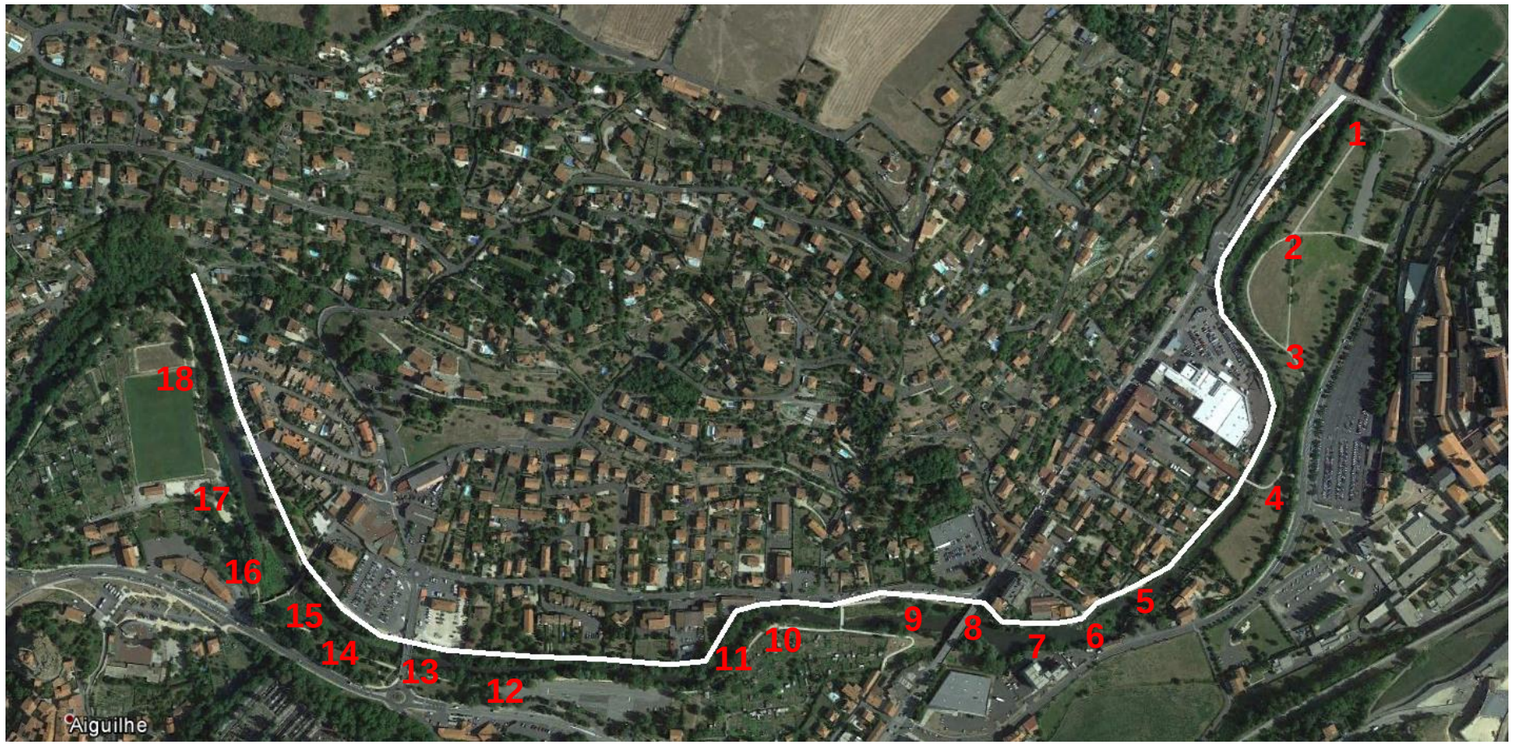
(3)

(4)

(5)

(6)

(18)



(7)

(17)

(8)

(16)

(9)

(15)

(14)

(13)

(12)

(11)

(10)

Du repère (1) à (3) la zone est plus en hauteur. Les forts enjeux commencent au niveau du repère (3), où se situe un magasin Intermarché.

La zone du repère (1) à (8) est assez élevée par rapport au lit de la rivière mais est tout de même sujette au risque de crue. Un certain nombre d'enjeux est mitoyen au cours d'eau et donc difficilement protégeable. Une analyse plus fine doit être réalisée à ce niveau pour déterminer la meilleure méthode de protection pour limiter l'impact.

SOCOTEC Infrastructure propose ainsi un linéaire alternatif qui traverserait la rue des écoles pour se raccorder au linéaire initial.

Figure 2-4 : Tracé alternatif en aval d'habitation

Du repère (8) à (11), la morphologie du terrain permet l'installation facile de protection sur la voirie.

Du repère (11) à (13), le site d'étude est en terrain privé. SOCOTEC Infrastructure n'a pas pu inspecter ce secteur. Il est envisageable de mettre en place un système qui traverserait les jardins privés pour uniformiser le système de protection.

Du repère (14) à (15), un parking permet l'installation du système de protection.

Du repère (15) à (16), SOCOTEC infrastructure a observé un bâtiment collectif privé et un parking bordé par des murs mais ouvert sur le cours d'eau. Il sera possible d'installer un système de protection sur ce parking.

Etant donné que le passage par les terrains privatifs risque d'être compliqué, SOCOTEC Infrastructure propose de réaliser un tracé alternatif long de 1900 m : celui-ci permet l'installation de protection sur la voirie, en aval des habitations. Cette solution facilite l'installation des protections mais ne protège pas l'ensemble des habitations à risque.

Figure 2-5 : Tracé alternatif en aval d'habitation

Du repère (16) à (18), le chemin des jardins (privé) a une emprise suffisante pour l'installation des systèmes amovibles.

Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai de berge stabilisé ;
- Pente : nulle ;
- Remblai routier et berge terrain naturel, voirie ;
- Emprise : supérieur à 5.00 m ;
- Point sensible : habitations mitoyennes aux berges.

2.5 Solutions préconisée

La hauteur de protection préconisée se base sur la hauteur de PPRI (comprise entre 1 et 2 m).

La zone à l'étude est localisée en bordure d'un petit cours d'eau pouvant être considéré comme privé. Il peut être envisageable de traverser les jardins privatifs pour protéger les habitations mitoyenne au cours d'eau. Cependant, cette solution nécessitera des aménagements importants dans le domaine du privé pour satisfaire une protection optimale.

Etant donné la configuration topographique de la zone, le régime torrentiel entrainera des vitesses importantes. De plus, le régime torrentiel du cours d'eau entrainera un temps de réaction pour l'installation très réduit (de l'ordre de 12 h selon les autorités locales). Ainsi il est nécessaire de réaliser une protection rapide à mettre en œuvre ou fixe dans le temps. Il peut être envisagé la création de mur de protection fixe, à l'image de la ville de Montauban qui s'est munie d'une digue en palplanches et mur béton armé pour protéger la majeure partie de ses enjeux.

SOCOTEC infrastructure propose les solutions suivantes :

- Système de batardeaux à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée.

En effet les deux solutions semblent appropriées pour une hauteur d'eau de 1.50 m.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeaux inclinés offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols

en eau.

Linéaire alternatif :

Le linéaire alternatif est choisi pour éviter l'installation de système sans traverser les propriétés privées. Ce nouveau tracé emprunte les voiries. Etant donné que le système sera en aval des habitations, les vitesses seront ralenties. SOCOTEC Infrastructure propose donc la solution de barrage gonflable.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation de batardeaux gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système gonflable permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible (environ 300 €/ml).

Cependant l'inconvénient de ce système, est qu'il ne permet pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses. Etant donné les caractéristiques hydrauliques de la zone, il n'est pas envisageable de mettre en place ce système au bord du cours d'eau. Il serait toutefois possible mettre le système gonflable en aval des habitations pour maîtriser les vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable.

Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Cependant pour atteindre une hauteur de protection de 1.8 m il faudra prévoir une emprise au sol de 7.2 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain n'a pas permis de vérifier ce point, étant donné le mobilier urbain et l'emprise disponible sur les voiries. Il est toutefois possible d'installer ce système sur une hauteur de 1 m.

SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur. Il y a un risque que les vitesses soient importantes même en installant des protections souples en aval des habitations.

2.6 Analyse comparative

Solution Initiale		
	Système à structure inclinée	Système à planchette
Longueur	2 050 m	
Hauteur	1.50m (1 à 2m)	
Prix (environ)	2050 k€ (1k€/ml)	De 12 300 k€ (6k€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>72h
Rehaussement	Difficile	Facile
Solidité	bonne	Très bonne
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m en fonction de la hauteur de protection	Quasi nulle mais nécessite des fondations
Durabilité	Bonne	Très bonne

Tableau 2-1 : Comparatif pour la solution initiale – Puy en Velay

Solution linéaire alternatif		
	Système à structure inclinée	Système gonflable
Longueur	1900m	
Hauteur	1.50m (1 à 2m)	
Prix (environ)	1900 k€ (1k€/ml)	670 k€ (350€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>12h
Rehaussement	Difficile	Difficile
Solidité	Bonne	Moyenne
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m en fonction de la hauteur de protection	Fragile en cas d'embâcles
Durabilité	Bonne	Bonne

Tableau 2-2 : Comparatif pour la solution linéaire alternatif – Puy en Velay

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants :

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	Système membranaire	Barrage gonflable
Longueur	1 900 m		
Hauteur	1.00 m		
Prix (environ)	950 k€ (500€/ml)	850 k€ (450€/ml)	475 k€ (250€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	>12h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Difficile
Solidité	Bonne	Fragile en cas d'embâcles	Fragile en cas d'embâcles
Emprise au sol	Environ 2 m	3 m	Pour 1.00m de protection prévoir 1.50 m d'emprise
Durabilité	Bonne	Moyenne	Moyenne

Tableau 2-3 : Comparatif pour la solution alternative – Puy en Velay

3 VICHY

3.1 Caractéristiques de la zone

Située en bordure de la rivière Allier, l'agglomération de Vichy a connu plusieurs inondations dues aux crues de la rivière et de ses affluents. La dernière crue remonte à décembre 2003 pour l'Allier et au 22 mai 2012 pour le Sichon. Cette crue est d'une période de retour située entre 20 et 30 ans.

Des digues de protection ont été construites en bordure de l'Allier en rive droite au droit des parcs Napoléon-III et Kennedy.

Depuis l'approbation du PPR (juillet 2001), la crue de décembre 2003 a impacté l'agglomération de Vichy. Sa période de retour est estimée entre 10 et 20 ans. Son débit de pointe a été estimé à 1 660 m^3/s à la station de Saint-Yorre. Elle a conduit à des évacuations sur les communes de Vichy et Saint-Yorre. Elle a également provoquée des difficultés d'alimentation en eau potable ainsi que des coupures d'électricité, à Abrest par exemple. Des coupures de circulation ont également été observées notamment à Saint-Yorre.

3.2 Localisation du site d'étude

La zone d'étude est localisée en aval de la digue Napoléon.

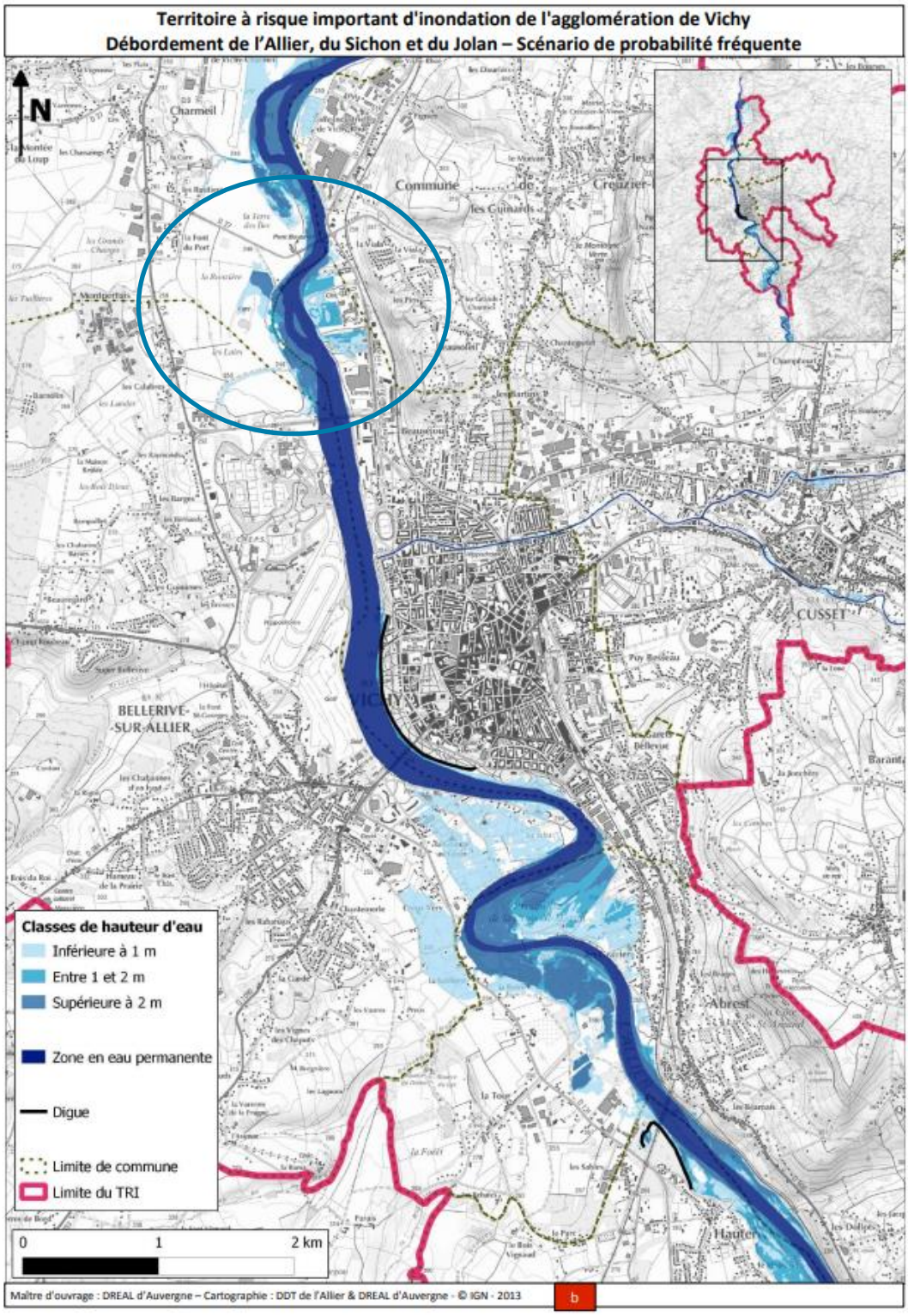


Figure 3-1 : Carte issue des TRI pour inondation fréquente - Vichy

Les cartes issues des TRI mentionnent les trois types de crue qui ont été simulées :

Scénario fréquent : ce scénario correspond à la crue de décembre 2003. Elle est associée à une hauteur de 5.46 m à l'échelle de la station de St-Yorre et à un débit de 1 660 m^3/s. Sa période de retour est estimée entre 10 et 20 ans. Les ouvrages de protection (Digue Napoléon et ouvrages d'entonnement sur Hauterive et St-Germain-des-Fossés) sont considérés comme résistants à la crue correspondant à l'événement fréquent.

Scénario moyen : Ce scénario correspond à la crue historique de mai 1866 associée à une hauteur de 4.06 m à l'échelle de Vichy et à un débit de 3 720 m^3/s. Sa période de retour est estimée entre 150 et 200 ans. Il s'agit de l'aléa de référence du PPRI. Compte-tenu des caractéristiques de la digue Napoléon et du contexte hydraulique (largeur importante, terrain naturel côté val supérieur au niveau de la crue centennale) l'ouvrage est considéré comme résistant à l'événement considéré. Les autres ouvrages sont considérés transparents.

Scénario exceptionnel : Ce scénario correspond à un événement de période de retour 1000 ans. Le débit retenu est de l'ordre de 4 870 m^3/s. Les ouvrages de protection ne sont pas pris en compte.

D'une manière générale, les incertitudes moyennes sur la ligne d'eau pour l'Allier sont :

- De l'ordre de 20 cm pour la crue fréquente ;
- De l'ordre de 30 cm pour la crue moyenne ;
- D'au moins 50 cm pour la crue exceptionnelle.

On remarque que la zone d'étude est impactée dès les crues de période de retour 20 ans.

Le profil altimétrique de la digue est le suivant :

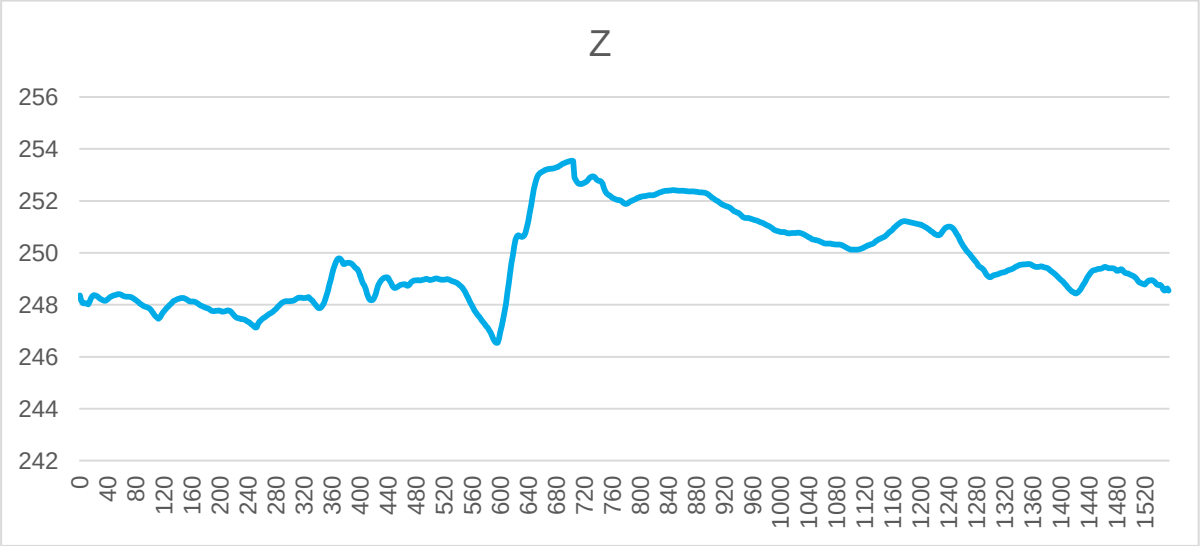


Figure 3-2 : Topographie du linéaire à protéger - Vichy

On remarque que le risque d'inondation est plus susceptible d'impacter les premiers 600 m.

3.3 Enjeux

Il n'existe pas d'étude détaillée des enjeux de cette zone. Néanmoins une analyse sommaire montre la présence de :

- habitations,
- lieux de culte,
- lieux d'enseignement,
- une polyclinique
- Conseil Départemental de l'Allier (Antenne de Vichy)
- Maison départementale des personnes handicapées de l'Allier (Antenne)
- une zone commerciale.

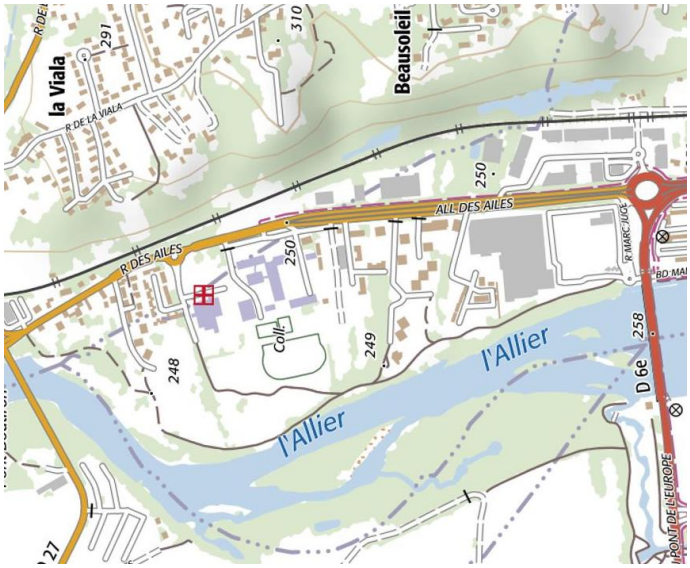


Figure 3-3 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Vichy (Géoportail)

SOCOTEC infrastructure a réalisé une analyse des données SIG de l'INSEE. L'INSEE a réalisé un quadrillage de 200 m de coté qui comptabilise la population selon le dernier recensement effectué. L'analyse montre que 626 personnes sont touchées lors d'un épisode moyen.

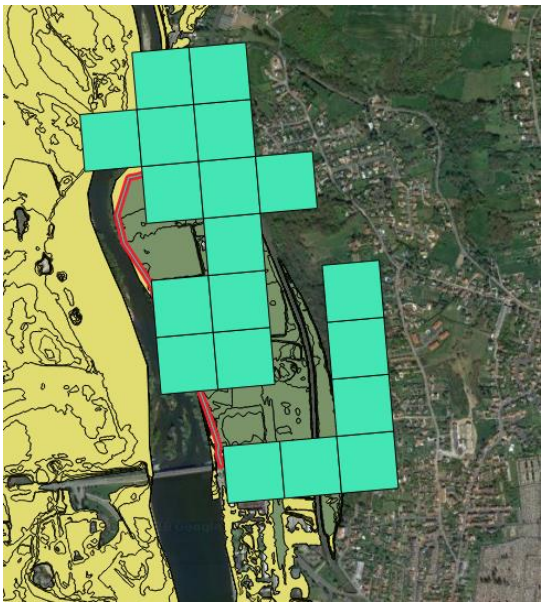


Figure 3-4 : Caractérisation des populations impactées (INSEE_Vichy)

Il conviendrait d'ajouter à cette analyse sommaire une étude détaillée sur les enjeux protégés par les systèmes de protection amovibles.

3.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

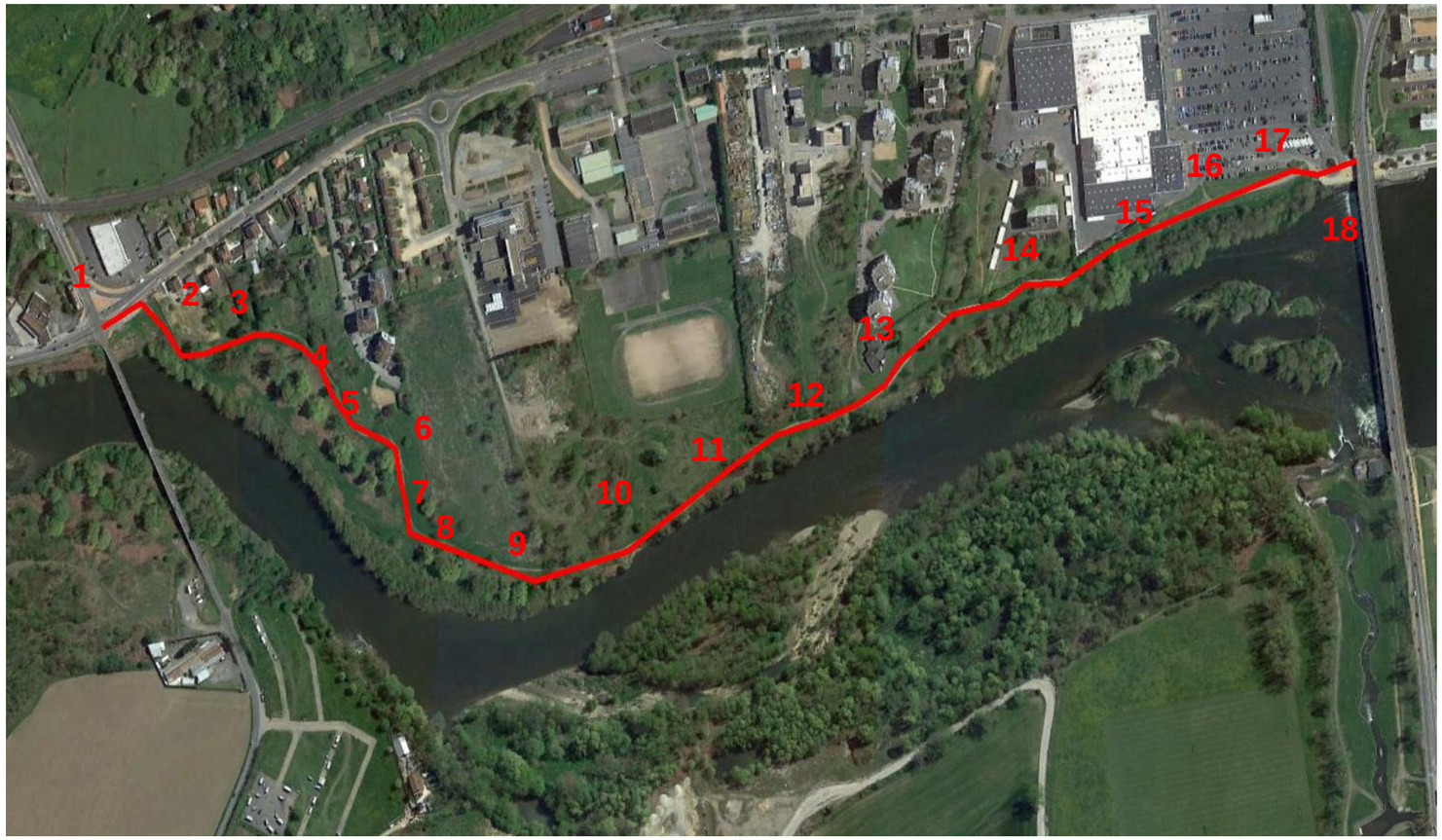
(3)

(4)

(5)

(6)

(18)



(7)

(17)

(8)

(16)

(9)

(15)

(14)

(13)

(12)

(11)

(10)

D'après la campagne terrain réalisée par SOCOTEC infrastructure, au niveau du repère (1) la zone d'étude débute sur le pont du Boutiron. A ce niveau, les enjeux de protection sont localisés en hauteur. La morphologie localisée entre les repères (1) et (6) est continue et se situe en aval d'un merlon de faible hauteur avec des habitations.

Du repère (6) à (12) la morphologie est assez continue, la topologie constante avec une zone pour l'installation de système de protection importante. On peut remarquer sur le plan un centre hospitalier.

Du repère (12) à (14), l'emprise est plus importante, le merlon de terre est moins important. Des logements collectifs sont localisés en aval de la zone.

A partir du repère (14) à (17), les enjeux sont localisés sur une zone plus basse que précédemment. Les enjeux en amont sont constitués essentiellement d'un centre commercial.

Du repère (17) à (18) l'emprise et la morphologie des quais est constante et permet d'installer un système unique qui reposerait sur le mur de soutènement. Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai de berge stabilisé ;
- Pente : nulle ;
- Remblai de berge terrain naturel ;
- Emprise : supérieure à 5.00 m ;
- Point sensible : berges.

3.5 Solutions préconisées

La hauteur de protection préconisée se base sur la hauteur de PPRI (compris entre 1 et 2 m). Les hauteurs correspondent environ à 1.50 m au droit des enjeux. Etant donné les incertitudes des modèles hydrauliques, nous préconisons d'installer une revanche de 0.30 m de sécurité.

Etant donné la configuration topographique de la zone, le régime fluvial entraînera des vitesses importantes, SOCOTEC infrastructure propose les solutions suivantes :

- Système à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée ;
- Système membranaire ;
- Système gonflable.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeaux inclinés offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation de batardeaux gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système gonflable permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible (environ 300 €/ml). Pour une hauteur de 1.80 m il faudra prévoir une emprise au sol de 2.4 m afin de déployer le système gonflable avec des tubes empilés.

Cependant l'inconvénient de ce système est qu'il ne permet pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses. Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable.

Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Cependant pour atteindre une hauteur de protection de 1.8 m il faudra prévoir une emprise au sol de 7.2 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain a montré une forte présence d'arbres qui ne permettent pas de satisfaire ce point. Il est toutefois possible d'installer ce système sur une hauteur de 1 m.

SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur.

Néanmoins, l'installation de protection amovible ne semble pas en totale adéquation avec les enjeux. En considérant que la zone subisse des aménagements urbains dans les dix prochaines années, les structures amovibles à mettre en place ne seront peut-être pas suffisantes.

Ainsi, il peut être intéressant de mettre en place un projet de construction de digue en remblai. En effet, la hauteur de protection n'influencera pas beaucoup le prix final de la digue. Selon le retour d'expérience de SOCOTEC infrastructure, ce type d'aménagement aurait un coût compris entre 5 et 10 M€ pour une hauteur environ de 2.00 m.

3.1 Analyse comparative

Solution Initiale			
	Système à structure inclinée	Système gonflable	Système à Poutrelle
Longueur	1555 m		
Hauteur	1.80 m		
Prix (environ)	1555 k€ (1k€/ml)	1244 k€ (700€/ml)	11 000k € (7k€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>6h	>48h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Facile
Solidité	Bonne	Moyenne	Très bonne
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m	5 à 6 m	Nulle mais ancrage
Durabilité	Bonne	Bonne	Très Bonne

Tableau 3-1 : Tableau comparatif pour la solution initiale Vichy

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants :

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	Système membranaire	Système gonflable
Longueur	1555 m		
Hauteur	1,00 m		
Prix (environ)	777 k€ (600€/ml)	700k€ (450€/ml)	390k€ (250€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	>12h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Difficile
Solidité	Bonne	Moyenne	Fragile en cas d'embâcles
Emprise au sol	Environ 2 m	4 m	Pour 1.00 m de protection prévoir 1.50 m d'emprise
Durabilité	Bonne	Moyenne	Moyenne

Tableau 3-2 : Tableau comparatif pour la solution alternative Vichy

4 MONTLUÇON

4.1 Caractéristiques de la zone

L'agglomération de Montluçon est exposée aux débordements des crues du Cher. Différents scénarios de crues ont été définis dans le rapport « STRATEGIE LOCALE DE GESTION DU RISQUE INONDATION (SLGRI) »

Scenario fréquent : La période de retour retenue pour ce scenario est égale à 30 ans et correspondant à un débit du Cher de 610 m3/s. Les débordements sont localisés essentiellement à l'aval de l'agglomération, dans des secteurs peu urbanisés.

Scenario moyen : Ce scenario correspond à un événement période de retour 100 ans, associé à un débit de 900 m^3/s.

Dans ce scenario, en plus des zones déjà inondées précédemment, des débordements surviennent dans la partie urbanisée de l'agglomération, en particulier en rive gauche du Cher, à l'aval du ruisseau de la Vernoelle.

Scénario exceptionnel : Ce scénario correspond à un événement de période de retour 1000 ans. Le débit retenu est de 1430 m^3/s.

Enfin, trois secteurs singuliers sont à signaler :

- Entre les rues du Chatelet et Joseph Chantemille, malgré une déconnexion hydraulique par un étroit passage hors d'eau. un secteur est inondé en prenant en compte une possible remontée du Cher, à cote constante, depuis le Quai Favieres ;
- La zone située à l'Est de la gare est inondée par le passage inférieur sous la voie ferrée de la rue du Docteur Roux ;
- Le quartier situé en rive gauche du Cher, immédiatement a l'aval de la ligne SNCF, est inondé par le passage inférieur de l'avenue Jules Guesde.

4.2 Localisation du site d'étude

En concertation avec la collectivité de Montluçon, l'étude s'est concentrée sur la rive gauche de Montluçon. La zone identifiée est située entre le pont du Chatelet et la rue Pablo Picasso. Cette zone concentre de nombreux enjeux, notamment une forte zone urbanisée avec une forte population.

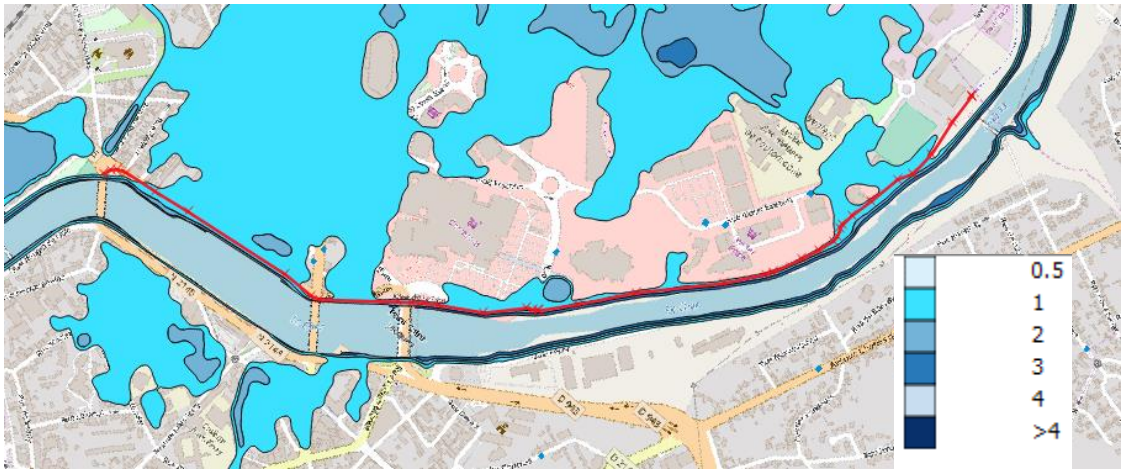


Figure 4-1 : Localisation de la digue amovible avec risque Q100

Le linéaire initial (en bleu) permettait de protéger les habitations :

Figure 4-2 : Tracée initiale de Montluçon

On peut constater que les débordements principaux ont lieu entre le pont du Chatelet et le pont Saint Jacques. On observe un étalement de la crue. Cependant on remarque aussi que les berges entre le pont Saint Jacques et la place des Glacerie sont sujettes à des débordements. Afin de d'éviter un phénomène de contournement de la protection, SOCOTEC Infrastructure conseille d'étendre le linéaire d'étude jusqu'à la place des Gâtines.

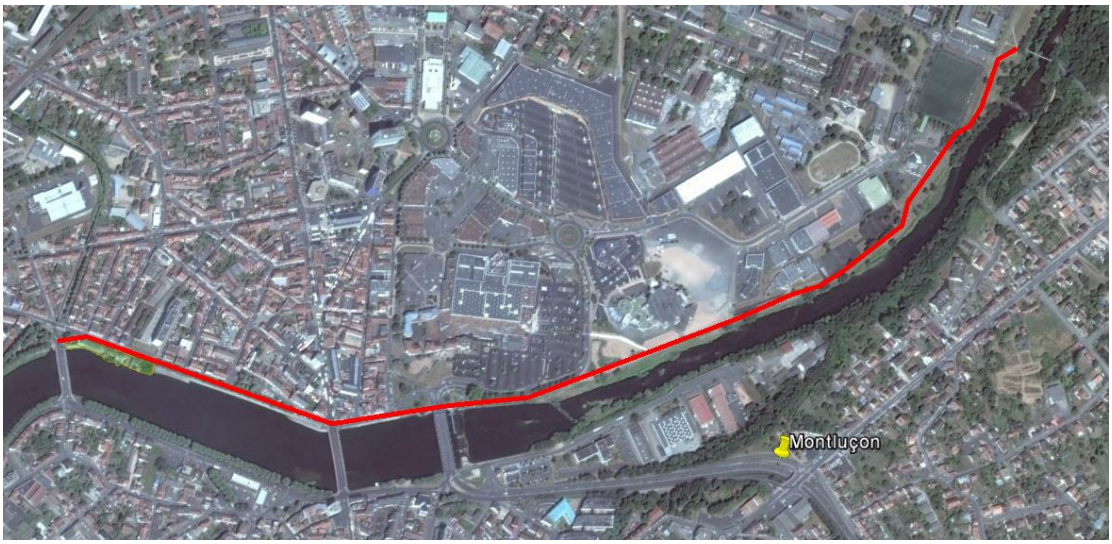


Figure 4-3 : Tracée alternatif de Montluçon

Le profil topographique du linéaire est le suivant :

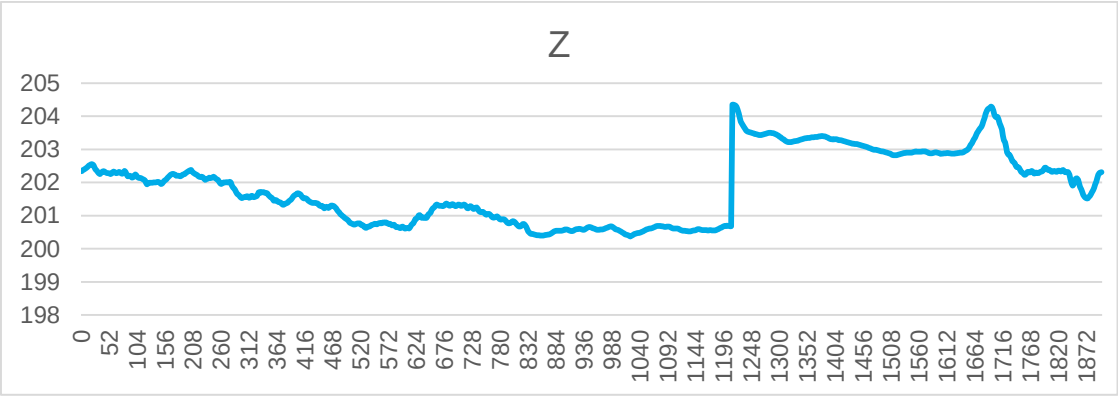


Figure 4-4 : Profil topographique du linéaire à Montluçon

4.3 Enjeux

Il n'existe pas d'étude détaillée des enjeux de cette zone. Néanmoins une analyse sommaire montre la présence de :

- habitations,
- lieux de culte,
- lieux d'enseignement,
- sites classés,
- zone commerciale.

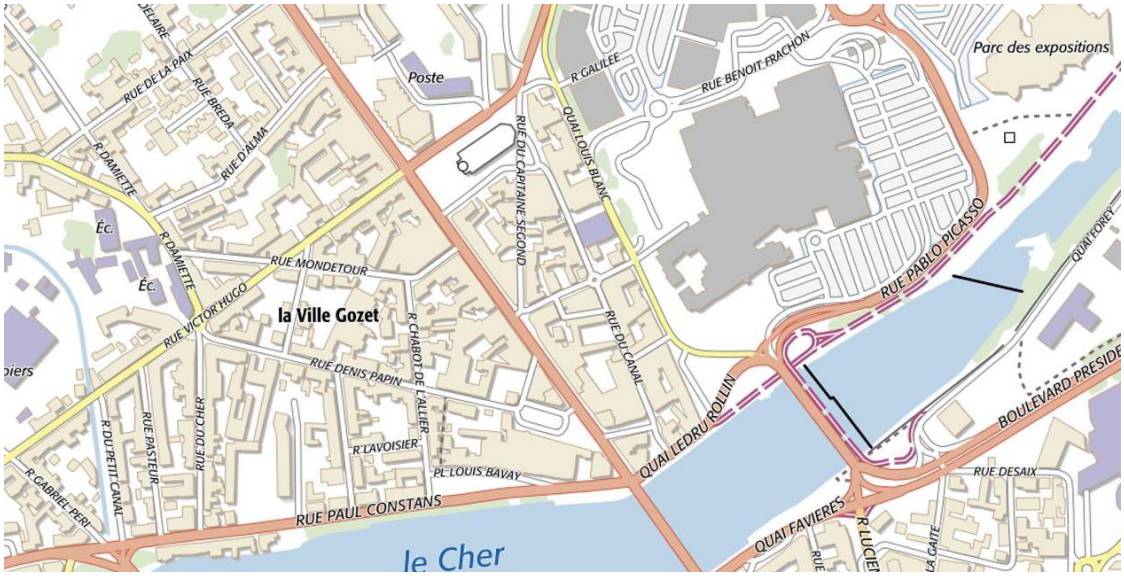


Figure 4-5 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Montluçon (Géoportai)

SOCOTEC infrastructure a réalisé une analyse des données SIG de l'INSEE. L'INSEE a réalisé un quadrillage de 200 m de coté qui comptabilise la population selon le dernier recensement effectué. L'analyse montre que 2839 personnes sont touchées lors d'un épisode moyen.

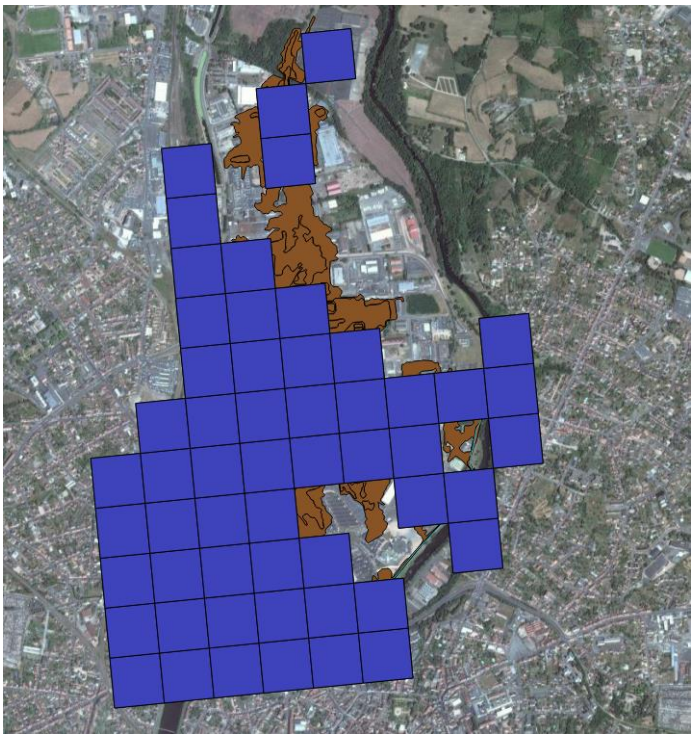


Figure 4-6 : Caractérisation des populations impactée (INSEE_ Montluçon)

Il conviendrait d'ajouter à cette analyse sommaire une étude détaillée sur les enjeux protégés par les systèmes de protection amovibles.

.

4.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

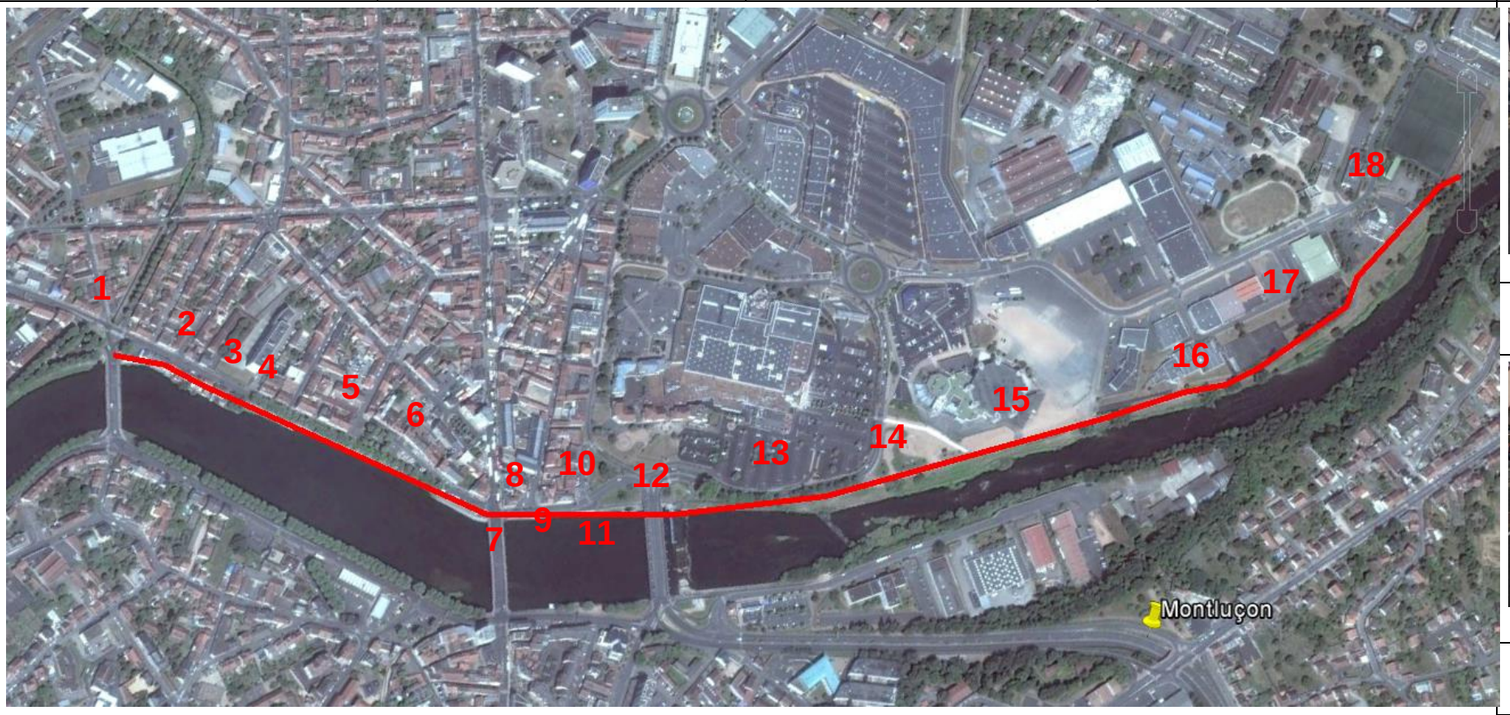
(3)

(4)

(5)

(6)

(18)



(7)

(17)

(8)

(16)

(9)

(15)

(14)

(13)

(12)

(11)

(10)

Les points (1) à (4) sont localisés en zone urbaine. Etant donné qu'une partie des habitations se situe à proximité immédiate du cours d'eau, il est quasiment impossible de protéger l'ensemble des habitations. Il serait toutefois possible de réaliser la construction d'une protection permanente devant les habitations pour un coût très important. Ainsi il est nécessaire de se placer sur la voirie, en aval des habitations précédemment mentionnées :

Figure 4-7 : Localisation de la protection à l'arrière des habitations

Des points (4) à (7) la morphologie de la zone est homogène, situé à l'arrière d'un petit muret de 80 cm de hauteur. La présence d'arbres obligera à localiser le système de protection sur la voirie.

Des points (7) à (12) la zone est située à l'arrière des voies de circulation et les berges sont composées de soutènement. Ces dernières semblent en bon état. Il n'y a plus de muret mais des garde-corps transparent aux crues. Il est donc primordial d'installer des protections à ce niveau des protections. En effet l'étude des cartes d'inondation montre un passage préférentiel des écoulements entre ces deux repères. Le point (12) semble être une zone basse. La zone protégée est principalement constituée d'habitations.

Des points (7) à (12) la zone est constituée d'un chemin piéton en remblai. D'après les cartes d'inondation, les écoulements sont moins importants à ce niveau. Une étude hydraulique déterminera précisément la hauteur de protection à mettre en œuvre. La zone protégée est principalement constituée d'habitations situées à l'arrière de voies de circulations.

Des points (12) à (18) la zone est constituée d'un remblai de berge. La zone protégée comprend des entrepôts. La stabilité des berges sera à vérifier.

Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai routier et remblai de berge stabilisé ;
- Pente : nulle ;
- Voirie et remblai de berge terrain naturelle ;
- Emprise : supérieur à 4.00 m ;
- Point sensible : berges et mobilier urbain.

4.5 Solutions préconisées

La hauteur de protection préconisée se base sur la hauteur de PPRi (compris entre 1 et 2 m).

Etant donné la configuration topographique de la zone, le régime fluvial entraînera des vitesses importantes, SOCOTEC infrastructure propose les solutions suivantes :

- Système à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée ;
- Système membranaire ;
- Système gonflable.

En effet les deux solutions semblent appropriées pour une hauteur d'eau de 1.50 m.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeaux inclinés offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.5 m, il faudra prévoir une emprise au sol de 6.0 m afin de déployer le système membranaire. La visite effectuée sur le terrain a permis de vérifier ce point notamment en installant le système sur la voirie.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles, il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable.

SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur.

De plus SOCOTEC Infrastructure conseille de réaliser une étude d'impact des petits murets qui pourraient participer dans le système de protection. La zone protégée est principalement constituée d'habitations.

4.6 Analyse comparative

Solution Initiale			
	Système à structure inclinée	Système membranaire	Système à Poutrelle
Longueur	1000 m		
Hauteur	1.50 m		
Prix (environ)	1000 k€ (1k€/ml)	700 k€ (700€/ml)	6 000k € (6 k€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	>48h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Facile
Solidité	Bonne	Moyenne	Très bonne
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m	6 m	Nulle mais ancrage
Durabilité	Bonne	Bonne	Très Bonne

Tableau 4-1 : Comparatif pour la solution initiale – Montluçon

Solution étendue				
	Système à structure inclinée	*Système membranaire*	Système gonflable	Système à Poutrelle
Longueur	1900 m			
Hauteur	1.50 m			
Prix (environ)	1900 k€ (1000€/ml)	1330 k€ (700€/ml)	670k€ (300€/ml)	11 400k € (6 k€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	>12h	>48h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Difficile	Facile
Solidité	Bonne	Moyenne	Moyenne	Très bonne
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m	6 m	Pour 1.50 m de protection prévoir 2.50 m d'emprise	Nulle mais ancrage
Durabilité	Bonne	Bonne	Bonne	Très Bonne

Tableau 4-2 : Comparatif pour la solution étendue – Montluçon

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants.

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	Système membranaire	Barrage gonflable
Longueur	1900 m		
Hauteur	1.00 m		
Prix (environ)	950 k€ (500€/ml)	855 k€ (450€/ml)	475 k€ (250€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	>12h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Difficile
Solidité	Bonne	Moyenne	Fragile en cas d'embâcles
Emprise au sol	Environ 2 m	4 m	Pour 1.00 m de protection prévoir 1.50 m d'emprise
Durabilité	Bonne	Moyenne	Moyenne

Tableau 4-3 : Comparatif pour la solution alternative - Montluçon

5 CHARITE-SUR-LOIRE

5.1 Caractéristiques de la zone

La partie inondable de La Charité est principalement constituée de la vieille ville, le long des quais Foch et Clémenceau de part et d'autre du pont sur la Loire, et de l'île desservie par ce même pont.

Pour la crue cinquantennale, la partie basse de la vieille ville subit l'intrusion des eaux. Les quartiers compris au croissement du quai Clémenceau et de la rue de Neuville se voient inondés de 0.1 m – 7 habitations touchées (image 1). Les points bas de l'Ile de la Charité sont submergés. Une grande partie de l'île est inondée. On relève près de 0.5 m d'eau au centre de l'île – 55 bâtiments touchés.

Pour la crue centennale, l'inondation des quartiers situés à l'amont du pont de la Charité et longeant le quai Clemenceau s'amplifie. Les hauteurs d'eau atteignent 0.5 m et remontent à l'intérieur de la ville – 25 habitations touchées. (1'). A l'exception des têtes de pont, toute l'île de la Charité est inondée. Les hauteurs d'eau sont de l'ordre de 1 m – 60 habitations touchées (2').

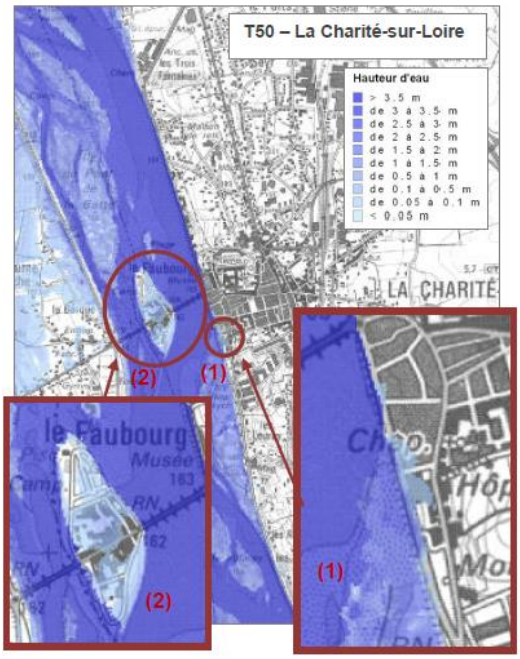


Figure 5-1 :Q50 Charité sur Loire (Diagnostic hydrologique et hydraulique)

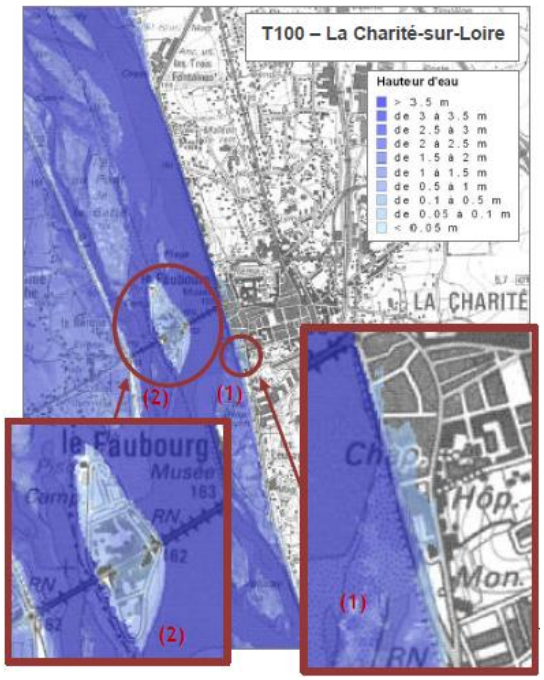


Figure 5-2 : Q100 Charité sur Loire (Diagnostic hydrologique et hydraulique)

5.2 Enjeux

La cartographie « Synthèse des risques d'inondation » des études réalisées dans les départements de la Nièvre et du Cher présente les enjeux impactés par les différentes crues. SOCOTEC Infrastructure a résumé ces informations dans le tableau suivant :

	Habitants inondés	Habitants inondés à l'étage	Entreprises inondées	Salariés affectés	Réseau(x) affecté(s) par l'inondation	Service(s) impacté(s)
Q20	80	-	-	-	Assainissement	-
Q50	270	-	<5	<5	Assainissement	-
Q70	390	-	<5	<5	Assainissement	-
Q100	470	-	<5	<5	Assainissement	-
Q170	470	-	<5	<5	Assainissement	-
Q200	480	-	<5	<5	Assainissement-	-

Tableau 5-1 : Enjeux - Charité sur Loire

5.3 Localisation du site d'étude

En rive droite la partie inondable de La Charité-sur-Loire est principalement constituée de la vieille ville, le long des quais Foch et Clémenceau de part et d'autre du pont sur la Loire, et de l'île desservie par ce même pont. L'île de La Charité est totalement inondée à partir de la crue d'occurrence 70 ans.

C'est en rive droite que la commune de La Charité-sur-Loire concentre le plus d'habitants en zone inondable. La population sur l'île de la Charité est estimée à plus de 200 personnes vivant dans des habitats mixtes. Cerné par la Loire, c'est un territoire très vulnérable en cas de crue dans la mesure où les hauteurs d'eau peuvent y être importantes.

Le centre-ville de La Charité-sur-Loire abrite quant à lui plus de 560 personnes en zone inondable, soit plus de 60 % de la population exposée en rive droite et plus du quart de la population menacée à l'échelle du secteur.

En revanche, les hauteurs à cet endroit sont en général faibles et seulement quelques parties basses de la ville sont potentiellement inondées (rue, caves).

Les autres zones habitées de cette rive se trouvent en limite de la crue cinq-centennale et regroupent peu d'enjeux humains. De plus, l'évacuation des individus peut se faire rapidement vers l'Est en empruntant les voiries communales.

Figure 5-3 : Charité-sur Loire proposition d'aménagement

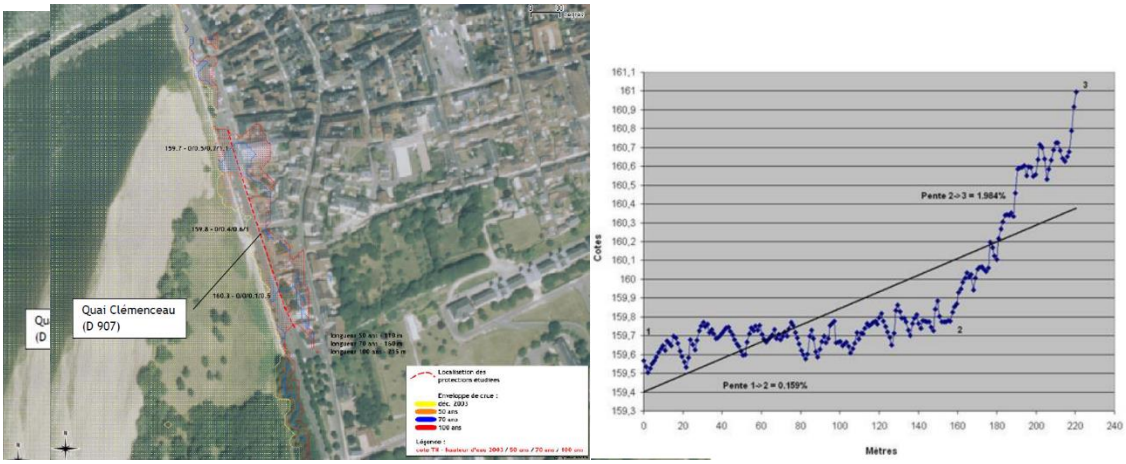


Figure 5-4 : Impact hydraulique Q50 charité sur Loire _ Source : Etude des vals de Loire dans lesdépartements du Cher et la Nièvre Diagnostic des risques d'inondation Synthèse

Les premières analyses effectuées sur les protections amovibles préconisaient de mettre en œuvre une protection amovible en rive droite en amont du pont de la Charité.

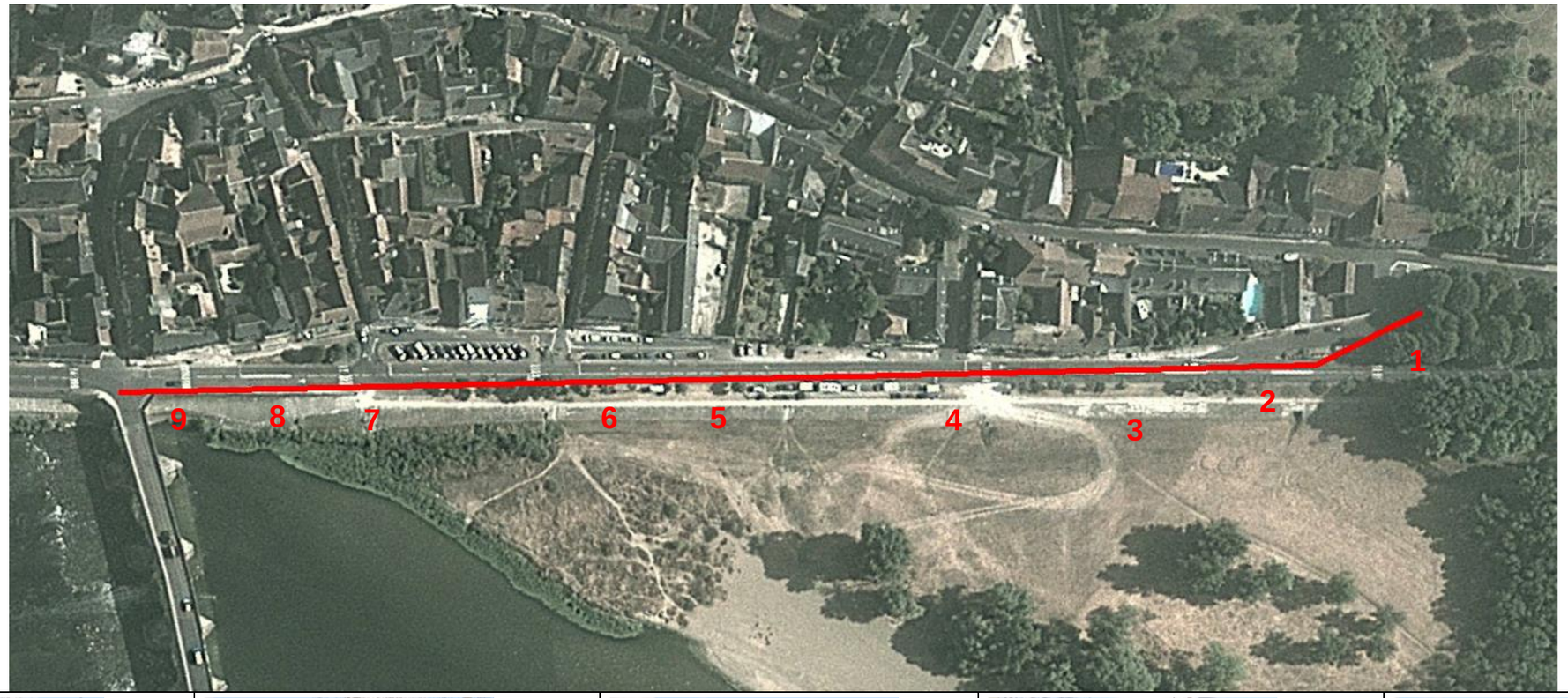
5.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

(3)

(4)



(9)

(8)

(7)

(6)

(5)

Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai routier – remblai de berge stabilisé ;
- Pente : nulle ;
- Voirie ;
- Emprise : supérieur à 4.00 m.

5.5 Solutions préconisées

SOCOTEC infrastructure s'est appuyé sur l'étude de vals de Loire Cher/Nièvre. Une analyse topographique a été menée afin de définir la hauteur des barrières de protection sur l'ensemble du linéaire de 160 m. Pour éviter le contournement du système de protection, SOCOTEC Infrastructure conseille d'allonger le système de 50 m pour un linéaire total de 220 m.

La hauteur de protection préconisée se base sur une occurrence de 70 ans et correspond à une hauteur de 0.70 m. Pour une occurrence de 100 ans, le système de protection correspond à une hauteur de 1.10 m.

Etant donné que la morphologie de la zone pourrait entraîner des vitesses importantes, SOCOTEC infrastructure propose les solutions suivantes :

- Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée ;
- Système gonflable ;
- Système membranaire.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeaux inclinés offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

IAIRE

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.5 m, il faudra prévoir une emprise au sol de 6.0 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain a permis de vérifier ce point, notamment en installant le système sur la voirie.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable. SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur.

SOCOTEC Infrastructure conseille de mettre en place une hauteur de protection de 0.70 m avec une revanche de 0.30 cm pour une sécurité supplémentaire due à l'incertitude des modèles hydrauliques.

5.6 Analyse comparative

Solution initiale				
	Système à structure inclinée	***Système membranaire***	**Système gonflable**	**Système à planchette**
Longueur	**220m**			
Hauteur	**0.70 m + 0.30 m de revanche**			
Prix	**110 k€ (500€/ml)**	**99 k€ (450€/ml)**	**55 k€ (250€/ml)**	**1100 k€ (5000€/ml**
Temps de mise en œuvre	**>12h**	**>3h**	**>3h**	**>24h**
Rehaussement	**Difficile**	**Impossible**	**Difficile**	**Facile**
Solidité	**Bonne**	**Moyenne**	**Fragile en cas d'embâcles**	**Très bonne**
Emprise au sol	**Environ 2 m**	**4 m**	**Pour 1.00 m de protection prévoir 1.50 m d'emprise**	**Quasi nulle mais nécessite des fondations**
Durabilité	**Bonne**	**Moyenne**	**moyenne**	**Très bonne**

Tableau 5-2 : Comparatif pour la solution initiale – Charité sur Loire

6 SAINT-SATUR

6.1 Caractéristiques de la zone

La commune de Saint-Satur se situe en rive gauche de la Loire, à l'aval de Pouilly-sur-Loire. Elle présente deux secteurs urbanisés inondables, aux caractéristiques différentes : une zone en bord de Loire, quartier de Saint Thibault, qui est en prise directe avec la Loire et regroupe de nombreuses habitations. L'étude initiale réalisée en 2015 préconise la mise en place de protection à ce niveau, sur le quai de la Loire.

Les bas quartiers de Saint-Satur sont placés derrière la digue du canal latéral à la Loire. Ce dernier secteur est touché par les premières crues de la Loire et devient une île. La submersion se fait en se resserrant autour de l'église, inondant progressivement les habitations périphériques qui se retrouvent isolées. Ainsi, pour les crues inférieures à la crue de période de retour 70 ans, les zones périphériques du quartier de St-Thibault sont submergées :

- A l'amont les premières maisons du bourg à proximité des terrains de sport, les quais et la tête de pont ;
- A l'aval, la zone du terrain de camping, les infrastructures de loisirs. Les hauteurs d'eau varient de 0.5 m pour la partie Est du quartier à 1 m pour la partie Sud-ouest, près du stade de Rugby (90 habitations touchées, secteur 1 de la Figure 2-1)

La partie basse de Saint-Satur placée derrière la digue du canal latéral à la Loire est potentiellement submergée à partir de la crue cinquantennale par des hauteurs allant jusqu'à 0.5 m (60 bâtiments touchés, secteur 2 de la Figure 2-1).

Pour les crues supérieures à 70 ans, la submersion se fait en se resserrant autour de l'église, qui se retrouve isolée au milieu de la Loire. Le quartier est totalement inondé pour la crue cinq- centennale.

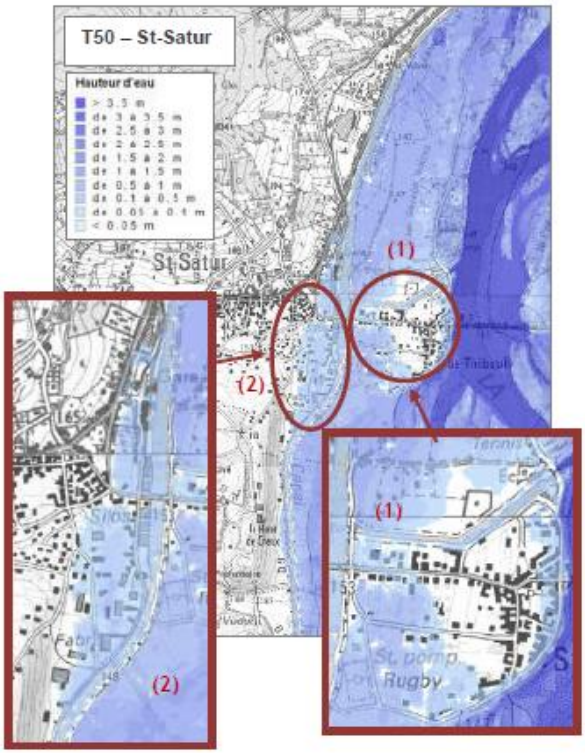


Figure 6-1 : Inondation Q50 Saint-Satur (Diagnostic hydrologique et hydraulique)

6.2 Enjeux

La zone la plus vulnérable en rive gauche du secteur correspond à la commune de Saint-Satur. Une partie du centre-ville, située en limite de l'enveloppe de crue, est touchée dès la crue cinquantennale.

Cependant, les enjeux présents ne sont pas forcément les plus problématiques dans la mesure où l'évacuation potentielle des personnes peut se faire très rapidement vers l'Ouest par les routes communales. A l'inverse, l'île de Saint-Thibault apparaît comme un territoire très vulnérable. Près de 280 personnes sont concentrées dans des habitats de type ancien et se retrouvent rapidement isolées en cas de montée des eaux.

	Habitants inondés	Habitants inondés à l'étage	Entreprises inondées	Salariés affectés	Réseau(x) affecté(s) par l'inondation	Service(s) impacté(s)
Q20	110	-	-	-	Assainissement impacté	-
Q50	230	-	-	-	Assainissement impacté	-
Q70	305	-	-	-	Assainissement impacté	-
Q100	385	-	-	-	Assainissement impacté	-
Q170	435	-	-	-	Assainissement impacté	-
Q200	455	-	-	-	Assainissement impacté	-

6.3 Localisation du site d'étude

L'analyse du profil topographique des digues du canal latéral indique la présence d'un secteur de surverse à partir du scénario de crue cinquantennale. L'EP Loire a souhaité que SOCOTEC Infrastructure concentre son analyse sur ce secteur.

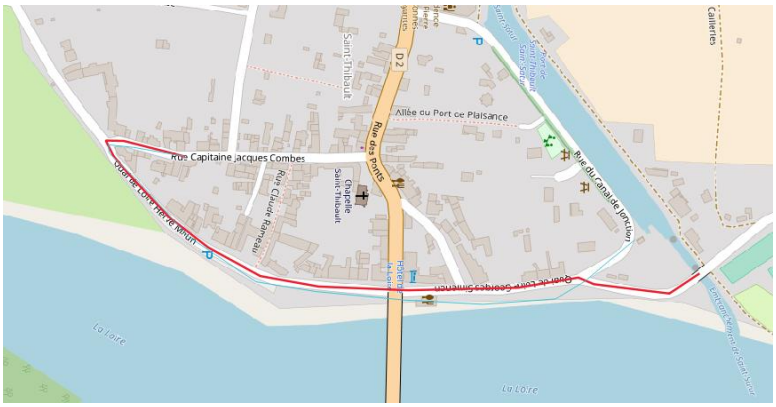


Figure 6-2 : Proposition d'aménagement – Saint Satur

La montée des eaux se fait par surverse par le quai de la Loire. Les premières habitations touchées se situent à ce niveau. On observe que pour une crue de période de retour 70 ans le quartier de Saint Thibault est rendu inaccessible par contournement des débordements, notamment par le canal.

La crue entraîne des débordements au niveau du centre-ville. Cependant, les enjeux présents ne sont pas forcément les plus problématiques dans la mesure où l'évacuation

potentielle des personnes peut se faire très rapidement vers l'ouest par les routes communales. A l'inverse, le quartier Saint-Thibault apparaît comme un territoire très vulnérable. Près de 280 personnes sont concentrées dans des habitats anciens et sont susceptibles de se retrouver rapidement isolées lors de la montée des eaux.

Il est donc envisagé de sécuriser dans un premier temps le quai de la Loire afin de se prémunir des premiers débordements. Dans un second temps, il pourrait être envisageable de sécuriser la digue du canal.

L'analyse de l'inondation réalisée par le bureau d'étude Hydratec montre que les premières surverses apparaissent dès les crues d'occurrence vingtennales, équivalentes à celle de 2003 et s'accentue pour les inondations d'une période de retour de 50 et 70 ans.

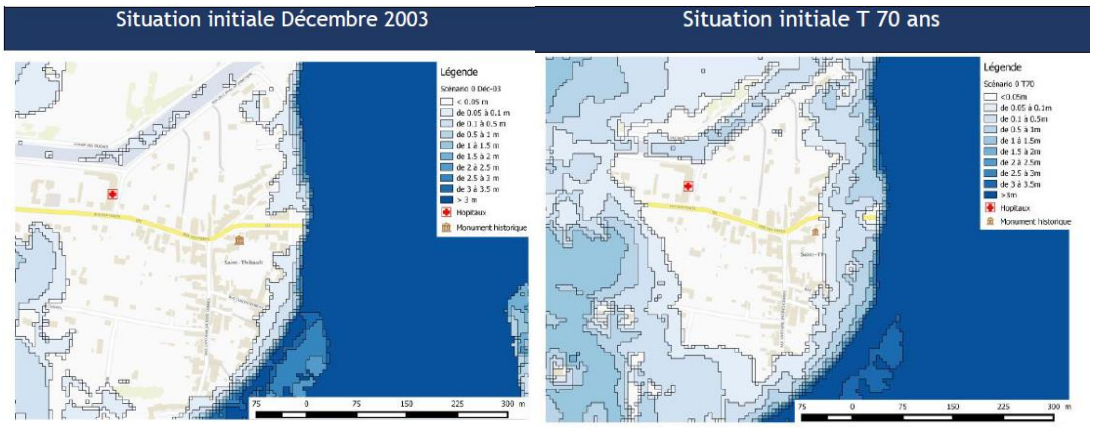


Figure 6-3 : Zone d'inondation crue Q20 et Q70

L'étude hydraulique a été réalisée dans le cadre de l'« Etude des vals de Loire dans les départements du Cher et de la Nièvre », complétée par une analyse des protections amovibles réalisée en 2015. Il est préconisé l'installation de protection amovible sur ce tracé pour une hauteur maximale de 1.3 m pour la période de retour de 70 ans.

Le profil topographique du linéaire de la berge à protéger est le suivant :

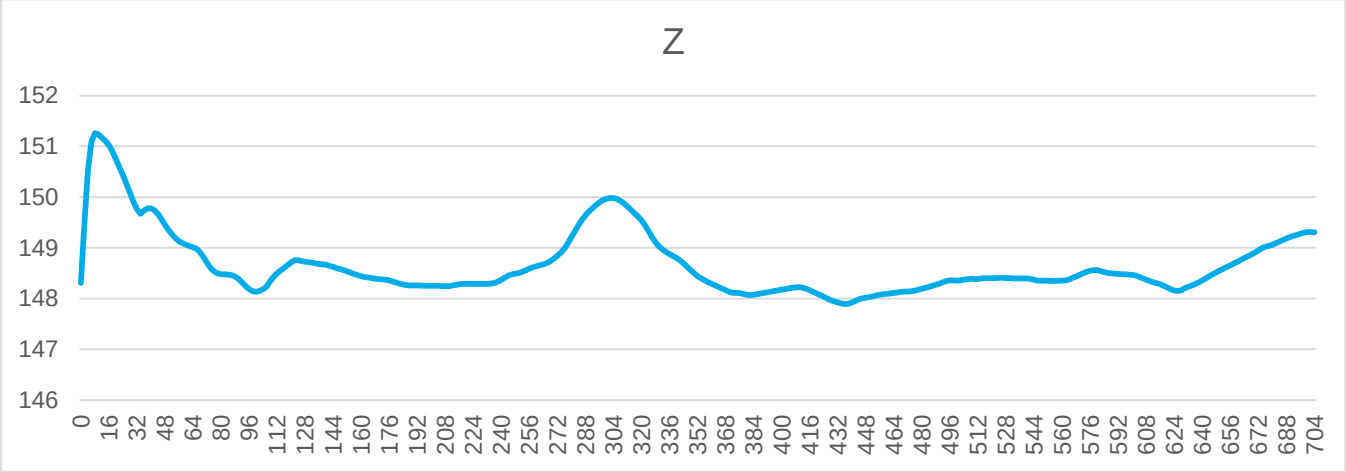


Figure 6-4 : Topographie du linéaire

6.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(15)

(7)

(14)

(8)

(13)

(13)

(12)

(11)

(10)

(9)

D'après la campagne de terrain réalisée par SOCOTEC infrastructure, les enjeux localisés entre les photos (1) et (15) présentent un risque fort en termes d'impact.

La morphologie de la zone est uniforme et présente une zone jugée suffisamment importante pour l'installation de protection amovible. En effet, on constate que l'ensemble de la zone est constituée d'une voirie goudronnée.

Au repère (1) le système de protection à déployer devra effectuer un retour dans la rue du Capitaine Jacques Combes pour éviter des débordements par contournement.

Enfin, au repère (15) le système viendra s'appuyer sur l'écluse pour fermer la zone à protéger.

Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai routier ;
- Pente : nulle ;
- Voirie goudronnée ;
- Emprise : supérieure à 4.00 m.

6.5 Solutions préconisées

SOCOTEC infrastructure s'est appuyée sur l'étude de scénario Cher-Nièvre «Note relative à l'étude de protections locales». Une analyse topographique a été menée par Antéagroup afin de définir la hauteur des barrières de protection sur l'ensemble de linéaire de 1042 m.

La hauteur de protection optimale préconisée dans le cadre de l'étude correspond à une hauteur protégeant contre une crue d'occurrence 70 ans. Au-delà, les hauteurs d'eau sont trop importantes pour mettre en œuvre un système de protection amovible efficace.
L'analyse topographique a montré qu'il était nécessaire de mettre en œuvre des protections amovibles de 1.50 m de hauteur sur l'ensemble du linéaire pour pouvoir se prémunir d'une crue d'occurrence 70 ans.
Etant donné que la morphologie de la zone pourrait entraîner des vitesses importantes, SOCOTEC infrastructure propose de retenir et d'analyser les solutions suivantes pouvant être déployées sur ce secteur :

- Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée ;
- Système membranaire ;
- Système gonflable.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeau incliné offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.5 m, il faudra prévoir une emprise au sol de 6.0 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain a permis de vérifier ce point, notamment en installant le système sur la voirie.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable.

SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur.

6.6 Analyse comparative

Solution initiale		
	Système à structure inclinée	Système membranaire
Longueur du linéaire proposé	1042 m	
Hauteur de protection	1.50 m (1.30 m + 0.20 m de sécurité)	
Prix estimatif	800 k€ (800 k€/ml)	520 k€ (500 €/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	<6h
Rehaussement	Difficile	impossible
Solidité	Très bonne	Moyenne
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m	Environ 6 m
Durabilité	Bonne	moyenne

Tableau 6-1 : Comparatif pour la solution initiale – Saint Satur

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants, le système membranaire peut être installé car l'emprise est suffisante pour une hauteur de protection de 1.00m

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	Système membranaire	Système gonflable
Longueur	1042 m		
Hauteur	1,00 m		
Prix (environ)	521 k€ (500 €/ml)	De 470 k€ (450 €/ml)	260 k€ (250 €/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	>12h
Rehaussement	Difficile	impossible	Difficile
Solidité	Bonne	Moyenne	Fragile en cas d'embâcles
Emprise au sol	Environ 2 m	4 m	Pour 1.00 m de protection prévoir 1.50 m d'emprise
Durabilité	Bonne	Moyenne	Moyenne

Tableau 6-2 : Comparatif pour la solution alternative – Saint-Satur

7 BRIARE

7.1 Caractéristiques de la zone

La ville de Briare est localisée dans le département du Loiret, situé en bord de Loire. Elle est traversée par un canal éponyme.

Le réseau hydrographique de ce val est constitué par la rivière la Trézée qui longe le canal de Briare et se confond avec lui depuis l'écluse de Venon jusqu'à l'écluse de Baraban. Deux branches du canal de Briare traversent l'agglomération : l'une au sud reliant le pont-canal et l'écluse de la Cognardière, et l'autre au nord reliant les écluses de Baraban et de la Cognardière.

A l'amont, la ville est protégée par une digue continue de 5 000 m de long qui borde le vieux canal en rive droite entre les écluses des Combles et du Baraban. Une porte de fermeture sur l'ancien canal est placée sous le pont canal pour empêcher à la fois les débordements de l'ancien canal de pénétrer en ville et ceux de la Loire de pénétrer dans l'ancien canal.

En aval, le canal en remblai se prolonge jusqu'à la station d'épuration de Briare. Il se poursuit au-delà par un autre canal en remblai.

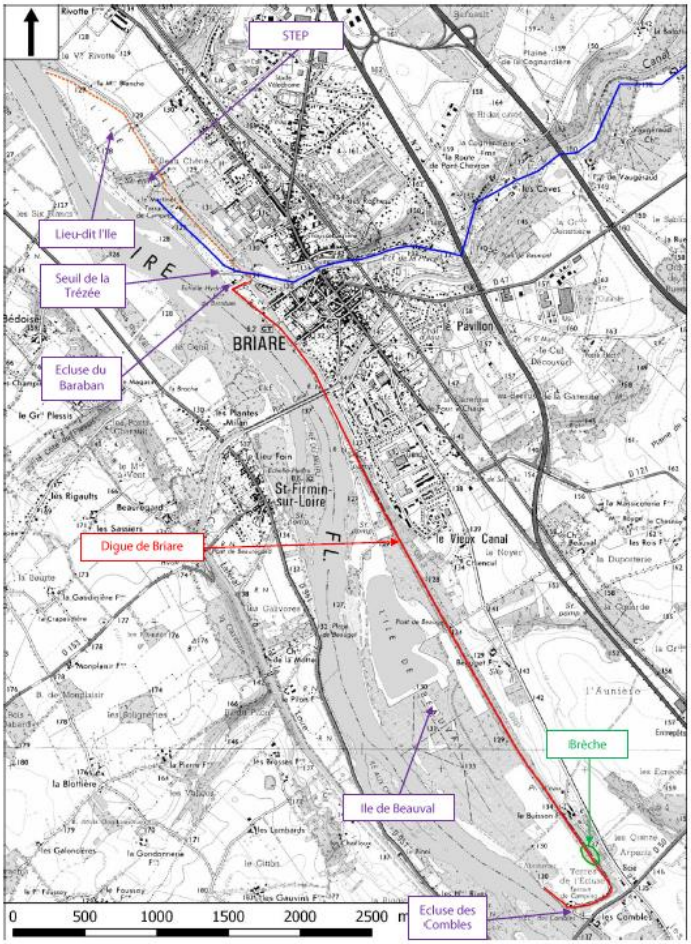


Figure 7-1 : Briare (Diagnostic hydraulique du Gennoie)

A l'aval de l'écluse de Baraban, le val est ouvert et ne bénéficie d'aucune protection.

7.2 Enjeux

Dans l'étude du Giennois « Diagnostic des risques d'inondation » les enjeux impactés ont été déterminés pour les différentes crues. SOCOTEC Infrastructure a résumé ces informations dans le tableau suivant :

	Habitants inondés	Habitants inondés à l'étage	Entreprises inondées	Salariés affectés	Réseau(x) affecté(s) par l'inondation	Service(s) impacté(s)
Q20	225	35	13	32	Eau Potable impactée Assainissement impacté	0
Q50	345	60	20	50	Eau Potable impactée Assainissement impacté	Marie
Q70	525	215	23	56	Eau Potable impactée Assainissement impacté	Marie
Q100	635	285	26	61	Eau Potable impactée Assainissement impacté	Marie
Q170	710	320	13	48	Eau Potable impactée Assainissement impacté	Marie
Q200	750	330	31	85	Eau Potable impactée Assainissement impacté Voirie Principale	Marie

Tableau 7-1 : Enjeux Briare

7.3 Localisation du site d'étude

Nous pouvons constater que les premiers débordements impactant les enjeux ont lieu dès une crue d'occurrence 20 ans. Les premiers débordements se situent sur le canal en aval de l'écluse de Barbaran.

Dans un premier temps, il serait envisageable de mettre en place des moyens de protection amovible sur la zone aval pour une occurrence vingtennale ou cinquantennale. Il serait également raisonnable de sécuriser l'écluse pour limiter les inondations par contournement lors du remous de la Loire.

A partir d'une crue d'occurrence 70 ans, les risques de rupture et de submersion de la zone amont sont très importants. Les débordements qui auront lieu sur la zone amont pour une occurrence plus forte entraîneraient la mise en œuvre d'importants aménagements, notamment la surélévation de l'écluse, pour les endiguer. Il serait donc envisageable de conforter la digue dans une mission ultérieure (non compris dans le cadre de l'étude actuelle).

Nous concentrerons donc l'analyse sur la zone en aval. Plusieurs bâtiments seront affectés par l'inondation quand bien même les protections sont mises en place. En effet, l'inondation se produira par le biais du contre canal situé le long du cours d'eau et localisé entre les habitations et le quai de la Tréze.

L’altimétrie du linéaire est la suivante :

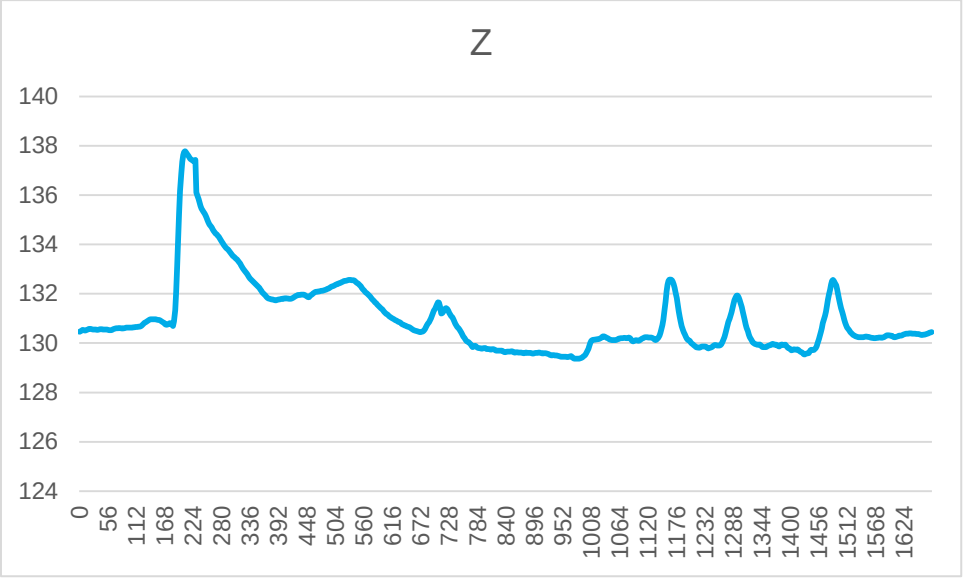


Figure 7-2 : Altimétrie du linéaire d'étude

7.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

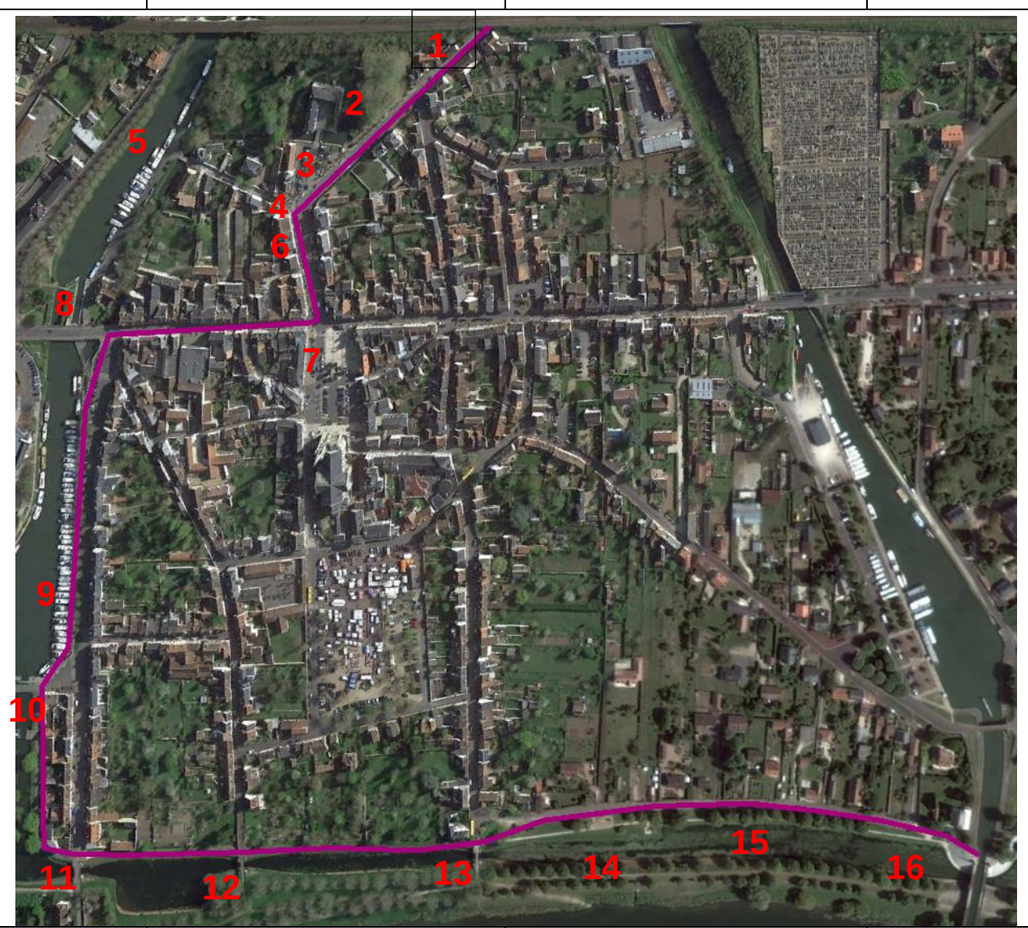
(3)

(4)

(5)

(6)

(16)



(7)

(15)

(8)

(14)

(13)

(12)

(11)

(10)

(9)

Au repère (1), le système débute au niveau du croisement de la voie de chemin de fer et de la route d'Ouzouer. La topographie en aval du chemin de fer est suffisamment élevée pour ne pas être affectée par une inondation. Le linéaire du système suit l'avenue du Maréchal Leclerc. Du repère (1) à (7), la morphologie est constante et permet l'installation de protection sur la voirie en aval des arbres.

Plusieurs bâtiments seront affectés par l'inondation même si les protections sont mises en place. En effet, il existe une sorte de contre canal le long du cours d'eau localisé entre les habitations et le quai de la Trèze (repère (5)). Celui-ci permet de mettre en eau les douves du château. Etant donné l'étroitesse des accès, il est envisageable de contourner cet ilot d'habitation pour protéger efficacement le reste de la zone.

Figure 7-3 : Localisation de la protection amovible (tracé violet) en aval des habitations (zone vert)

Cependant durant la visite, SOCOTEC Infrastructure a pu observer une ouverture au niveau des murs mitoyens à la route pouvant éventuellement servir d'accès pour créer une protection permanente permettant d'augmenter la zone protégée en intégrant une trentaine de bâtiments supplémentaires.

Figure 7-4 : Tracé alternatif - Briare

La jonction avec le tracé initial pourrait donc se faire sur cette partie d'ouvrage permanent via une paroi fixe ou mobile (cf. : Phase 1 – Actualisation de solutions techniques et recueil des retours d'expérience sur leur utilisation).

Du repère (7) à (10), la morphologie reste inchangée, l'installation des protections devra se faire sur la voirie pour faciliter la mise en œuvre.

Du (10) à (16), la morphologie change en des terrains végétalisées. L'emprise est plus limitée du repère (11) à (13) et s'élargie du repère (13) à (16). Le linéaire s'appuiera sur le remblai du pont canal.

Les caractéristiques du terrain sont les suivantes :

- Sols : remblai routier – remblai de berge stabilisé
- Pente : nulle
- Voirie et remblai de berge terrain naturelle
- Emprise : supérieur à 4.00m

7.5 Solutions préconisées

SOCOTEC infrastructure s'est appuyé sur l'étude de scénario du Giennois « 2.2. Etude_scénarios_aménagements_vB ». Une analyse topographique a été menée par Antéagroup afin de définir la hauteur des barrières de protection sur l'ensemble du linéaire de 1 600 m.

La hauteur de protection préconisée correspond à une protection pour une crue d'occurrence 70 ans. Au-delà, les hauteurs d'eau sont trop importantes pour mettre en œuvre un système de protection amovible efficace et optimal.

L'analyse topographique a montré qu'il était nécessaire de mettre en œuvre des protections amovibles de 1.50 m de hauteur sur l'ensemble du linéaire. En aval du pont canal, la hauteur nécessaire serait supérieure (1.65 m) sur une longueur de 300 m environ.

Etant donné que la morphologie de la zone pourrait entraîner des vitesses importantes, SOCOTEC infrastructure propose les solutions suivantes :

- Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée ;
- Système membranaire ;
- Système gonflable.

SOCOTEC Infrastructure estime qu'une partie du linéaire ne pourra pas recevoir le système membranaire car l'emprise n'est pas suffisante.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeau incliné offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.5 m, il faudra prévoir une emprise au sur l'ensemble du linéaire sol de 6.0 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain n'a pas permis de vérifier ce point.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable. SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur.

En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau quel que soit la solution choisie.

Si le tracé initial est choisi, il empruntera les voiries. Etant donné que le système sera en aval des habitations, les vitesses seront ralenties. SOCOTEC Infrastructure propose donc la solution de barrage gonflable.

Le linéaire alternatif est choisi pour permettre l'installation du système afin d'optimiser les protections. Ce tracé nécessite de traverser les propriétés privées par des structures rigides. Etant donné l'emprise disponible, SOCOTEC Infrastructure conseille de réaliser une protection par un mur définitif.

7.6 Analyse comparative

Les études hydrauliques existantes ont montré que pour les crues d'occurrence supérieure à 70 ans, la hauteur d'eau est trop importante pour des systèmes de protection amovible standard (hauteur > 2 m) et donc nécessiteraient obligatoirement des systèmes à poutrelle.

Les études hydraulique ont montré pour une crue d'occurrence 70ans il est nécessaire de réaliser une protection de 1.50m du point (1) à (14) puis de 1.65m du point (14) au point (16). Etant donné que le système de protection sera installé sur les berges situées à l'arrière des levées de la Loire, SOCOTEC Infrastructure fait l'hypothèse que les vitesses seront maîtrisées. Ainsi le système de protection sera uniforme sur tout le linéaire

Tracé initial			
	Système à structure inclinée	**Système à Poutrelle**	**Système gonflable**
Longueur	**1 600 m**		
Hauteur	**1.50 m (1 300m) + 1.65 (300 m)**		
Prix	**1600 k€ (1 k€/ml)**	**4 800k € (3 k€/ml)**	**560 k€ (350 €/ml)**
Temps de mise en œuvre	**>24h**	**>48h**	**<12h**
Rehaussement	**Difficile**	**Facile**	**Difficile**
Solidité	**Très bonne**	**Très bonne**	**Fragile en cas d'embâcles**
Emprise au sol	**Environ 2 à 3 m**	**Nulle mais ancrage**	**Environ 2 m**
Durabilité	**Bonne**	**Très Bonne**	**Moyenne**

Tableau 7-2 : Comparatif pour la solution initiale – Briare

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants.

Le système membranaire peut être installé car l'emprise est suffisante pour une hauteur de protection de 1.00m.

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	Systèmes membranaires	Système gonflable
Longueur	1 600 m		
Hauteur	1.00 m		
Prix (environ)	800 k€ (500 €/ml)	720 k€ (450 €/ml)	400 k€ (250 €/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	>12h
Rehaussement	Difficile	impossible	Difficile
Solidité	Bonne	Moyenne	Fragile en cas d'embâcles
Emprise au sol	Environ 2 m	4 m	Pour 1.00 m de protection prévoir 1.50 m d'emprise
Durabilité	Bonne	Moyenne	Moyenne

Tableau 7-3 : Comparatif pour la solution alternative - Briare

8 GIEN

8.1 Caractéristiques de la zone

Gien est localisé dans le département du Loiret, en région Centre-Val de Loire. La Loire est à l'origine des dégâts les plus importants sur la commune en cas de crue majeure. Les crues historiques sont celles de 1846, 1856, 1866 et 1907. Aucune crue n'a atteint depuis 1907 les hauteurs atteintes lors de ces événements catastrophiques.

En rive droite, les bas quartiers de Gien sont soumis à un débordement direct de la Loire dès la crue de période de retour 20 ans. De plus en plus de quartiers sont touchés au fur et à mesure de l'importance des crues considérées.

En rive gauche de la Loire, le quartier du Berry est touché à partir de la crue cinquantennale. Son inondation est généralisée à partir d'une crue centennale. En effet, la digue de Gien s'interrompant au droit du quartier du Berry, ce quartier est touché à la fois par débordement direct de la Loire en rive gauche ainsi que par les eaux en provenance du déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre.

Sa situation topographique (quartier situé un peu plus haut que le reste du val) permet néanmoins de limiter sa vulnérabilité. Les accès au pont de la déviation (D940) et au vieux pont (D941) de Gien sont coupés dès une crue d'occurrence 20 ans. Les accès par la D940 et par la D941 sont inondés en rive gauche respectivement pour des débits en Loire de 3 215 m^3/s et de 3 295 m^3/s, soit des hauteurs à l'échelle de Gien de 4.79 m et de 4.87 m.

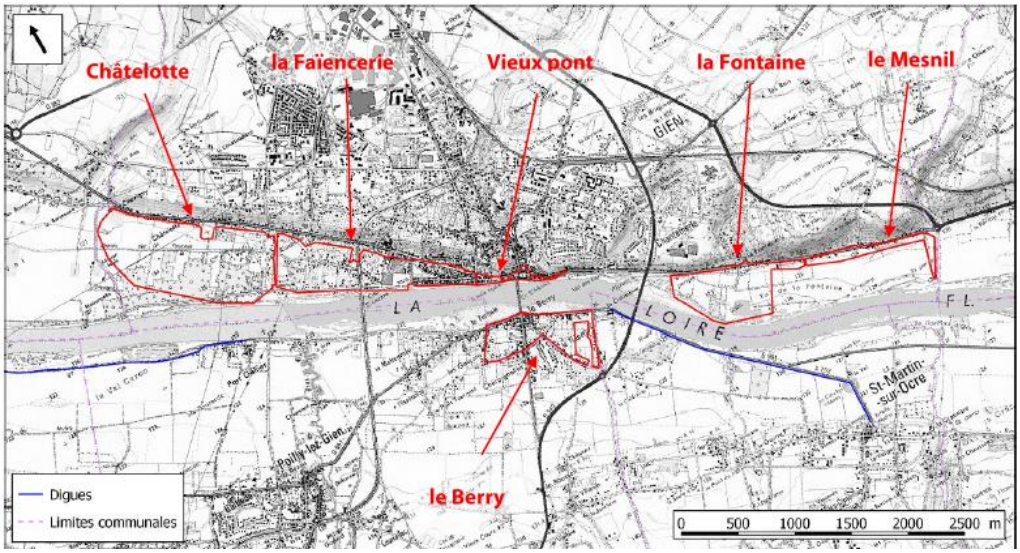


Figure 8-1 : Localisation des quartiers de Gien

8.2 Enjeux

L'étude du Giennois « Diagnostic des risques d'inondation », a établi les enjeux impactés par les différentes crues. SOCOTEC Infrastructure a résumé ces informations dans le tableau suivant :

	Habitants inondés	Habitants inondés à l'étage	Entreprises inondées	Salariés affectés	Réseau(x) affecté(s) par l'inondation	Service(s) impacté(s)
Q20	665	185	71	234	Assainissement impacté Téléphonie mobile impacté	-
Q50	1010	305	106	320	Assainissement impacté Téléphonie mobile impactée	-
Q70	1430	435	156	560	Assainissement impacté Téléphonie mobile impactée Voirie principale impacté	-
Q100	1610	490	188	537	Assainissement impacté Téléphonie mobile impactée Voirie principale impacté	-
Q170	1670	515	201	579	Assainissement impacté Téléphonie mobile impactée Voirie principale impactée	-
Q200	1750	545	224	632	Assainissement impacté Téléphonie mobile impactée Voirie principale impactée	-

Tableau 8-1 : Enjeux Gien

8.3 Localisation du site d'étude

Les premiers débordements ont lieu en rive droite pour une crue d'occurrence 20 ans et sont généralisés en rive droite pour une crue d'occurrence 50 ans. En basant l'analyse d'inondation sur la cartographie de la synthèse des enjeux, on observe que plus de 600 personnes sont impactées dans les quartiers « Chatelotte » et « Faïencerie ». L'étude vise à réduire l'impact de l'inondation sur cette zone pour des occurrences de 20 à 50 ans.

Les premiers débordements en rive gauche surviennent pour une crue d'occurrence 50 ans et sont généralisés pour une crue d'occurrence 50 ans.

La zone à l'étude à protéger par le système d'endiguement amovible commence au croisement de la rue Louis le blanc et du quai Maréchal Joffre. Le système pourrait se prolonger sur le quai de Nice pour éviter le contournement de la digue.

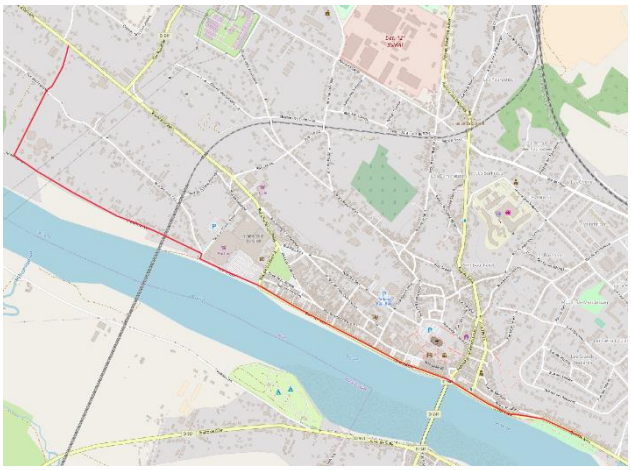


Figure 8-2 : Projection du linéaire de digue amovible de Gien

La projection du linéaire suit le long des berges de la Loire et remonte le chemin de Saint Pierre.

Sur le chemin du val, la zone est localisée dans le lit majeur. Cette zone est en aval des levées de la Loire. Cependant le rapport « Diagnostic des risques d'inondation

VOLETS HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE », montre que d'importants contournements ont lieu de part et d'autre de la levée, à partir d'une Q20. Il est donc primordial de protéger cette zone d'habitations.

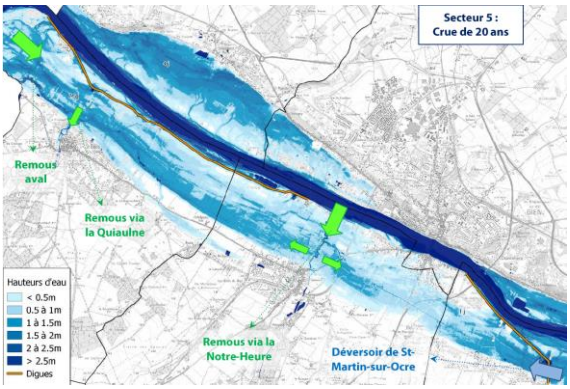


Figure 8-3 : contournement des levées au niveau de Gien- Source Diagnostic des risques d'inondation VOLETS HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

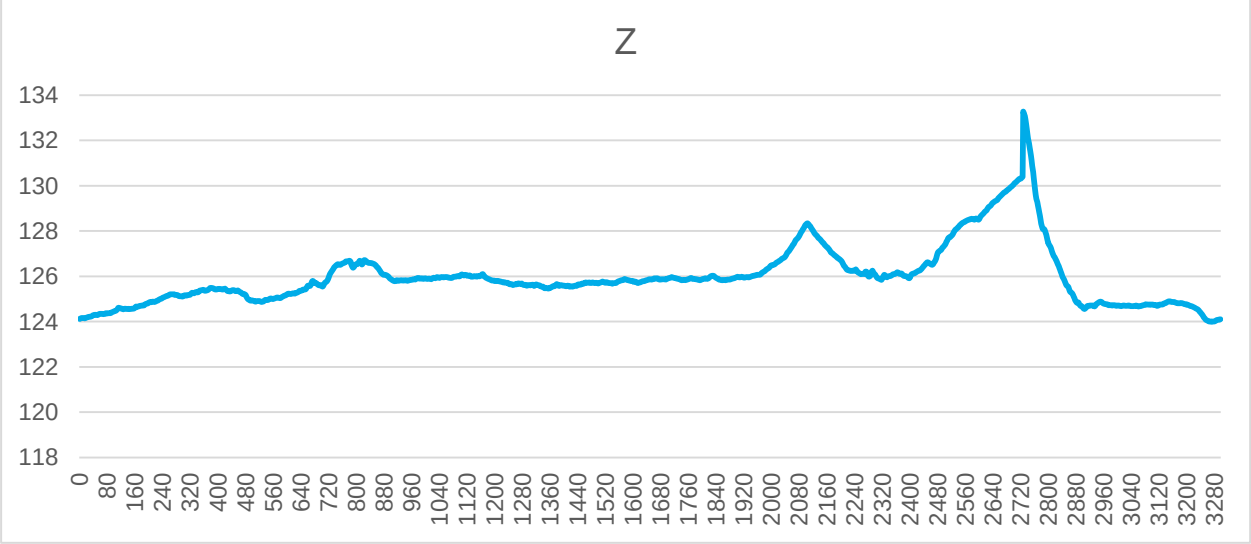


Figure 8-4 : Altimétrie du linéaire de l'étude

8.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

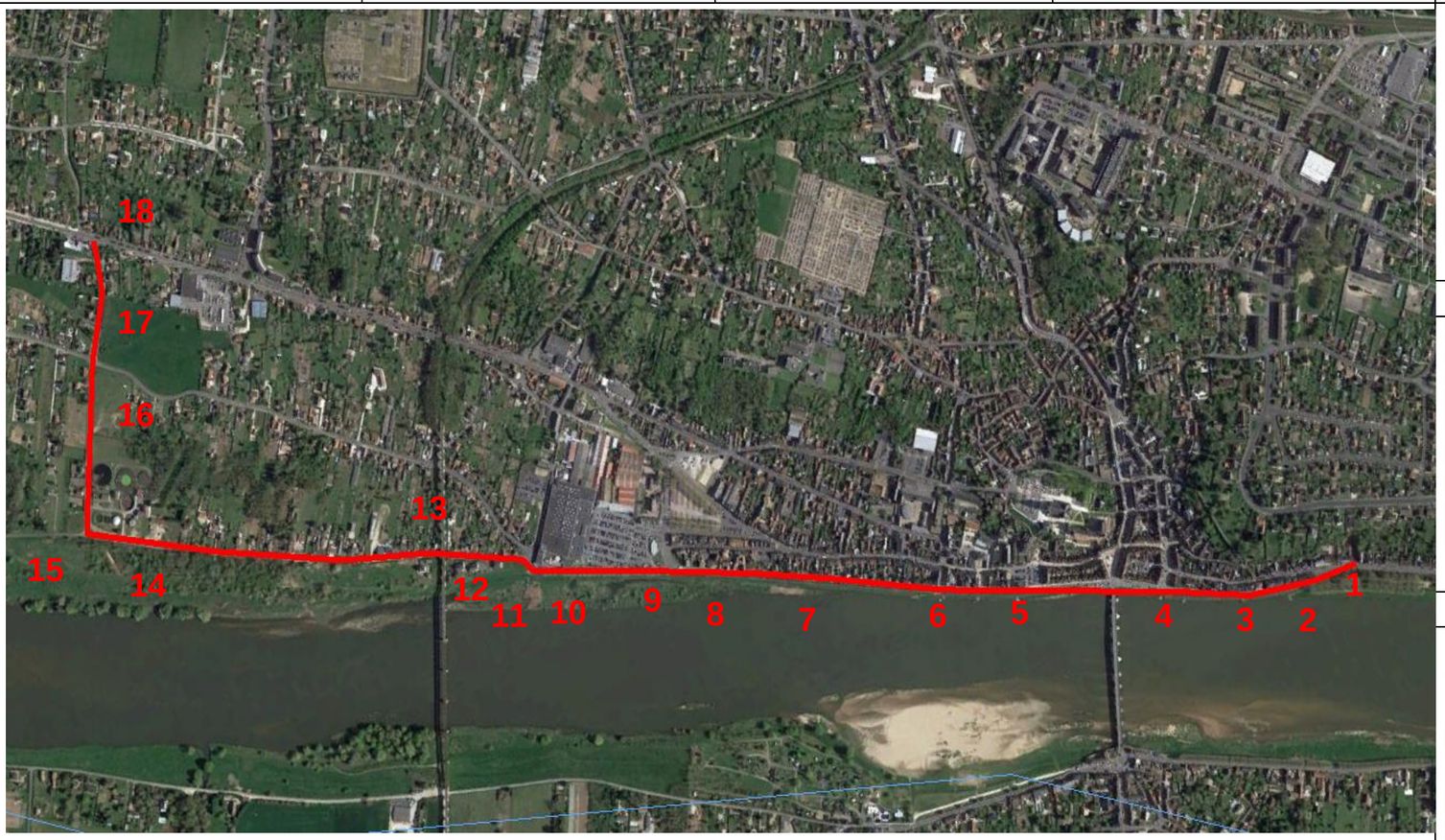
(3)

(4)

(5)

(6)

(18)



(7)

(17)

(8)

(16)

(9)

(15)

(14)

(13)

(12)

(11)

(10)

D'après la campagne de terrain réalisée par SOCOTEC infrastructure, le repère (1) montre que la zone le long du quai de Nice permettra l'allongement du système pour éviter le contournement de la digue.

Du repère (2) à (4), la morphologie est constante avec la présence d'arbres de gros diamètres. Il sera nécessaire d'installer les protections sur la voie de circulation à cause de ces arbres.

Du repère (4) à (6), la morphologie du quai change. Bien que la topologie soit très lisse et entretenue, la place disponible pour installer un système de protection amovible est trop faible. Etant donné la présence de mobilier urbain, il est nécessaire de s'installer sur la voie de circulation.

Du repère (7) à (11), la morphologie est constante avec des arbres sur les berges qui empêchent l'installation du système. Il sera nécessaire d'installer les protections sur la voie de circulation.

Au repère (11) la zone est protégée par la levée de la Loire. Néanmoins toute la zone est localisée dans le lit majeur de la Loire et est donc susceptible d'être inondée par le contournement de la levée.

Du repère (11) à (15), la morphologie est constante et constituée d'une route bituminée de 6 à 8 m de large. L'emprise est assez importante pour tous les systèmes étudiés.

Du repère (15) à (18), le linéaire de protection remonte le chemin de Saint Pierre pour fermer le casier hydraulique.

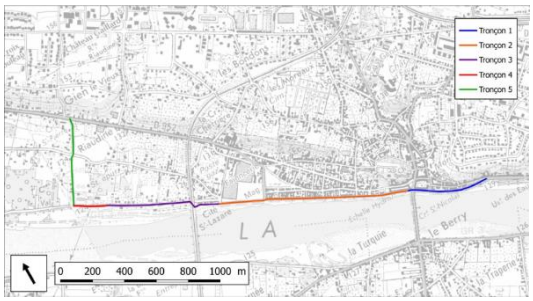
Les caractéristiques du terrain sont les suivantes :

- Sols : remblai routier
- Pente : nulle
- Voirie
- Emprise : supérieur à 4.00m

8.5 Solutions préconisées

SOCOTEC infrastructure s'est appuyée sur l'étude de scénario du Giennois. La hauteur de protection préconisée se base sur la hauteur d'inondation du PPRI (comprise entre 1.50 et 2m).

Le bureau d'étude AnteaGroup a rendu un rapport sur « l'élaboration concertée d'un programme d'actions de réduction des risques d'inondation » dans lequel il est précisé le linéaire de protection optimal afin de réduire les aléas pour une crue d'occurrence 70 ans.



Tronçon de protection	Longueur du tronçon	Hauteur de protection retenue[20]
Tronçon 1	500 m	1,00 m
Tronçon 2	1100 m	1,50 m
Tronçon 3	720 m	1,50 m
Tronçon 4	210 m	2,00 m
Tronçon 5	20 m	2,00 m
	390 m	1,50 m

Figure 8-5 : Tronçonnage du linéaire de protection à Gien (Etude des scénarios d'aménagement hydraulique)

Etant donné la configuration topographique de la zone, la morphologie de la zone entraînera des vitesses importantes, SOCOTEC infrastructure propose les solutions suivantes :

- Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires;
- Système à structure solide inclinée ;
- Système gonflable.
- Système membranaire

Les deux solutions « légère » peuvent assurer une hauteur d'eau de 1.50 m. Le système à structure solide inclinée et le système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires permettent d'obtenir des hauteurs de protection supérieures à 2.00m.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeau incliné offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.5 m, il faudra prévoir une emprise au sol de 6.0 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain a permis de vérifier ce point, notamment en installant le système sur la voirie.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable. SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur.

8.6 Analyse comparative

Le site Gien est particulier car les hauteurs d'eau lors de crues peuvent être très variables dans certains secteurs. Par exemple, pour une crue de 70ans, celles-ci sont comprises entre 1.00 et 2.00m dans la zone d'étude. Il est donc préconisé de réaliser une structure mixte répondant à cette problématique spécifique. En effet sur une longueur de 230 m, la hauteur de protection est de 2.00m, nous préconisons donc l'installation d'une structure rigide sur cette longueur. Pour des hauteurs de protection inférieures, des structures souples présentent une solution plus optimale.

Les linéaires ainsi que les hauteurs de protection correspondantes pour la crue de 70 ans sont les suivants (voir *Figure 8-5 : Tronçonnage du linéaire de protection à Gien (Etude des scénarios d'aménagement hydraulique)*) :

- Tronçon 1 : linéaire de protection 500m, hauteur de protection: 1.00m
- Tronçon 2 : linéaire de protection 1100m, hauteur de protection: 1.50m
- Tronçon 3 : linéaire de protection 720m, hauteur de protection: 1.50m
- Tronçon 4 : linéaire de protection 210m, hauteur de protection: 2.00m
- Tronçon 5A : linéaire de protection 20m, hauteur de protection: 2.00m
- Tronçon 5B : linéaire de protection 390m, hauteur de protection: 1.50m

Les tableaux suivants portent sur les analyses comparatives, pour chaque tronçon concerné, pour des hauteurs de 1m et 1.50m.

	Solution initiale (pour le linéaire d'une hauteur de 1.50m)			
	Système gonflable	**Système membranaire**	**Système à structure inclinée**	**Système à planchette**
Longueur	**500 m (tronçon 1)**			
Hauteur	**1.00 m**			
Prix	**150 k€ (300€/ml)**	**350€ (700€/ml)**	**500 k€ (1k€/ml)**	**De 1 000 k€ à 7000 k€ (2k€/ml à 7k€/ml)**
Temps de mise en œuvre	**<12h**	**>3h**	**>24h**	**>48h**
Rehaussement	**Difficile**	**Difficile**	**Difficile**	**Facile**
Solidité	**Fragile en cas d'embâcles**	**Moyenne**	**Bonne**	**Très bonne**
Emprise au sol	**Environ 2 m**	**4 m**	**Environ 2 m**	**Quasi nulle mais nécessite des fondations**
Durabilité	**Moyenne**	**Moyenne**	**Très Bonne**	**Très bonne**

Tableau 8-2 : Comparatif pour la solution initiale pour la longueur concerné par une hauteur de protection de 1.00m – Gien

	Solution initiale (pour le linéaire d'une hauteur de 1.50m)			
	Système gonflable	Système membranaire	Système à structure inclinée	Système à planchette
Longueur	2210 m (tronçons 2, 3 et 5B)			
Hauteur	1.50 m			
Prix	630 k€ (300€/ml)	1 500k€ (700€/ml)	221 k€ (1k€/ml)	De 1 200 k€ à 15 700 k€ (2k€/ml à 7k€/ml)
Temps de mise en œuvre	<12h	>3h	>24h	>48h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Difficile	Facile
Solidité	Fragile en cas d'embâcles	Moyenne	Bonne	Très bonne
Emprise au sol	Environ 2 m	6 m	Environ 2 m	Quasi nulle mais nécessite des fondations
Durabilité	Moyenne	Moyenne	Très Bonne	Très bonne

Tableau 8-3 : Comparatif pour la solution initiale pour la longueur concerné par une hauteur de protection de 1.50m – Gien

La solution mixte avec les solutions les plus appropriées est résumée dans le tableau suivant :

	Solution initiale mixte				
	Système gonflable	Système gonflable	Système membranaire	Système à structure inclinée	Système à planchette
Longueur	500m (tronçon 1)	2 210 m (tronçons 2, 3, 5B)		230 m (tronçon 4 et 5A)	
Hauteur	1.00 m ()	1.50m	1.50m	2.00 m	2.00
Prix	813 k€ (300€/ml)	<12h	>3h	230 k€ (1k€/ml)	De 600 k€ à 1 600 k€ (2k€/ml à 7k€/ml)
Temps de mise en œuvre	<12h	Difficile	Difficile	>24h	>48h
Rehaussement	Difficile	Fragile en cas d'embâcles	Moyenne	Difficile	Facile
Solidité	Fragile en cas d'embâcles	Environ 2 m	6 m	bonne	Très bonne
Emprise au sol	Environ 2 m	Moyenne	Moyenne	Environ 2 m	Quasi nulle mais nécessite des fondations
Durabilité	Moyenne	<12h	>3h	Très Bonne	Très bonne

Tableau 8-4 : Comparatif pour la solution mixte initiale – Gien

A titre indicatif l'étude « Etude scénarios aménagement » évalue la mise en œuvre d'une digue amovible à planchette à 10 200 000 € pour l'ensemble des travaux.

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants.

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	**Système membranaire**	**Système gonflable**
Longueur	**2940 m**		
Hauteur	**1.00 m**		
Prix (environ)	**1470 k€ (500€/ml)**	**1320k€ (450€/ml)**	**735k€ (250€/ml)**
Temps de mise en œuvre	**>24h**	**>3h**	**<12h**
Rehaussement	**Difficile**	**Difficile**	**Difficile**
Solidité	**Bonne**	**Fragile en cas d'embâcles**	**Fragile en cas d'embâcles**
Emprise au sol	**Environ 2 m**	**4 m**	**Pour 1.00 m de protection prévoir 1.50 m d'emprise**
Durabilité	**Bonne**	**Moyenne**	**Moyenne**

Tableau 8-5 comparatif pour la solution alternative - Gien

9 ORLEANS

9.1 Caractéristique de la zone

La partie de la ville d'Orléans à protéger se situe en rive droite de la Loire au niveau des quais permettant d'accéder du centre historique d'Orléans, le long des quais du Roy, du Chatelet, Cypierre et Barentin. Le centre historique concentre de nombreux enjeux.

Les cartes TRI du Val d'Orléans présentent de nombreuses précisions sur les risques d'inondations et les enjeux. Le rapport correspondant présente le recensement des plus hautes crues connues au XIXe siècle : 16 crues supérieures à 5.00m Orléans

Dates	Hauteur à l'échelle d'Orléans
Août 1804	6,00 m
Décembre 1825	6,00 m
Juin 1835	5,01 m
Septembre-octobre 1846	6,78 m
Mai-juin 1856	7,10 m
Octobre 1866	6,92 m
Octobre 1872	5,68 m

Figure 9-1 : Crues XIXème siècle supérieures à 5.00 m (Rapport de présentation de la cartographie du risque d'inondation par la Loire du secteur d'Orléans)

Trois types d'événement ont été analysés.

Scénario fréquent : La période de retour de ce scénario est comprise 20 ans et 30 ans. Elle correspond au débit de la Loire observé lors de la crue de 2003, soit un débit de 3 400 m3/s au bec d'Allier. Les débordements constatés sont localisés à l'intérieur du lit endigué et un remous est observé à la fin des vals ouverts sur le fleuve. Lors de cette inondation, malgré des effondrements karstiques à la décrue, les digues ont été très peu sollicitées et n'ont pas rompu. Le val d'Orléans n'a subi que quelques désordres mineurs liés aux remontées de nappes impactant les champs et inondant des caves.

Sur la rive droite, aucun débordement n'a été constaté. Le centre-ville d'Orléans n'est donc pas concerné.

Scénario moyen : Il correspond à l'aléa de référence retenu pour réviser les PPRI de l'agglomération d'Orléans. C'est donc un scénario composite qui intègre les inondations liées à la défaillance des digues situées en rive gauche et des débordements sur la rive droite lors des trois grandes crues du XIXème siècle (période de retour 150 à 200 ans et débit de l'ordre de 7 000 m3/s au bec d'Allier). Il a été choisi de faire une analyse pour cette occurrence.

Scénario exceptionnel : Ce scénario correspond à un événement de période de retour de l'ordre de 1 000 ans. Le débit retenu à l'entrée du modèle hydraulique au bec d'Allier est de 10 000 m3/s, écrêté par le barrage de Villerest. Compte tenu de sa rareté, il n'est pas apparu opportun que l'étude porte sur cette occurrence.

9.2 Localisation du site d'étude

Le site à l'étude concerne donc le centre historique en rive droite d'Orléans. La carte des aléas issue des données disponibles sur le site Data.gouv présente les risques en rive droite.

La zone d'aléas commence au niveau du chemin de halage. En amont de ce chemin de halage se trouve un canal protégé par une digue. En cas de crue, le niveau dans le canal et la Loire s'équilibre ce qui permet de protéger l'intégrité de cette digue.

La zone d'aléa prend fin au niveau de la rue du commandant de Poli. Le linéaire de protection a été arrêté au niveau du pont du Maréchal Joffre en aval.

Figure 9-2 : Projection du linéaire de digue amovible sur la carte des enjeux d'Orléans

L'analyse topographique présente le profil de la rive droite d'Orléans :

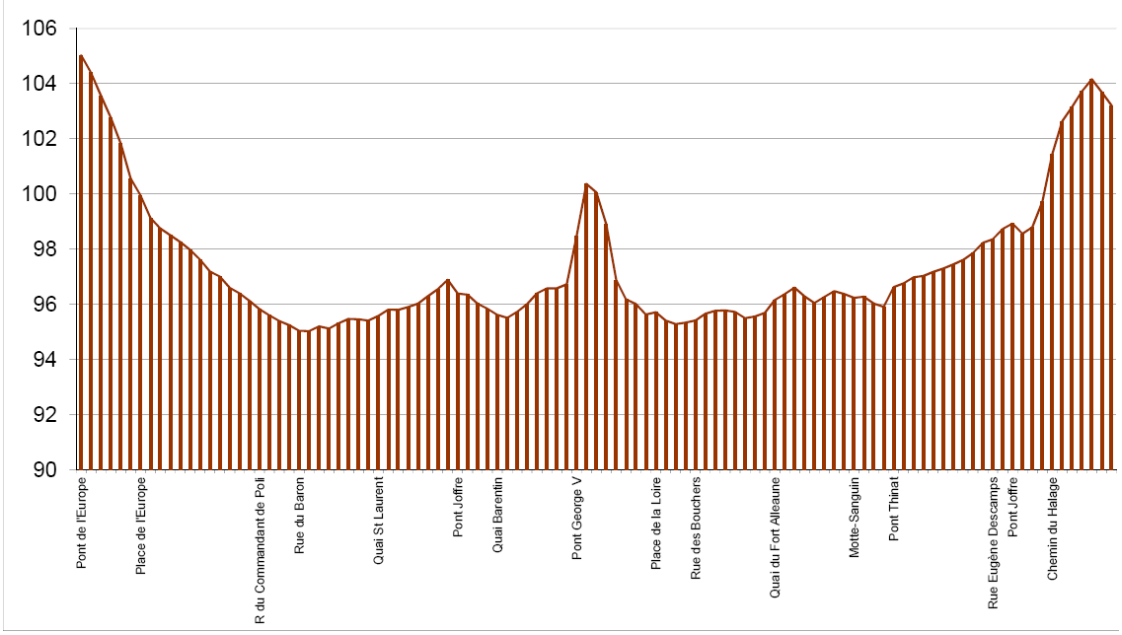


Figure 9-3 : Profil en long rive droite d'Orléans

L'EP Loire a fourni à SOCOTEC Infrastructure la projection des niveaux de crues sur le profil en long de la rive droite d'Orléans.

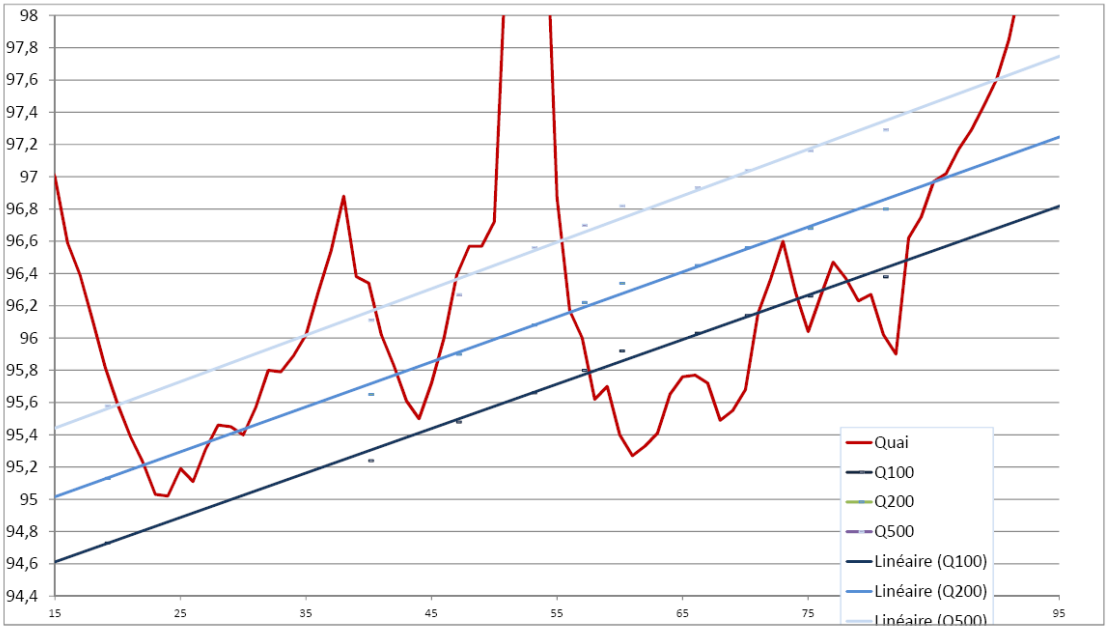


Figure 9-4 : Projection de la ligne d'eau des crues sur le profil en long des quai Rive Droite d'Orléans

On remarque que pour une crue d'occurrence 100 ans les hauteurs de protection ne dépassent pas 1 m. Il serait donc raisonnable d'établir une protection pour cette hauteur. SOCOTEC Infrastructure propose une marge de sécurité de 0.30 m due aux approximations du modèle.

Pour une crue d'occurrence 200 ans, les hauteurs d'eau sont plus importantes et dépassent 1 m. la longueur de protection est également plus importante.

9.3 Enjeux

Le PPRI d'Orléans mentionne pour l'ensemble de la ville environ 22 000 personnes susceptibles d'être impactées directement par une inondation de scénario moyen.

On remarque que de nombreux établissements de gestion de crise se situent sur la rive droite d'Orléans, à proximité de la zone d'étude.

Il n'existe pas d'étude détaillée des enjeux de cette zone. Néanmoins une analyse sommaire montre la présence de :

- habitations,
- lieux d'enseignement,
- commerces,
- bâtiments public,
- bâtiments de santé,
- lieux de cultes.

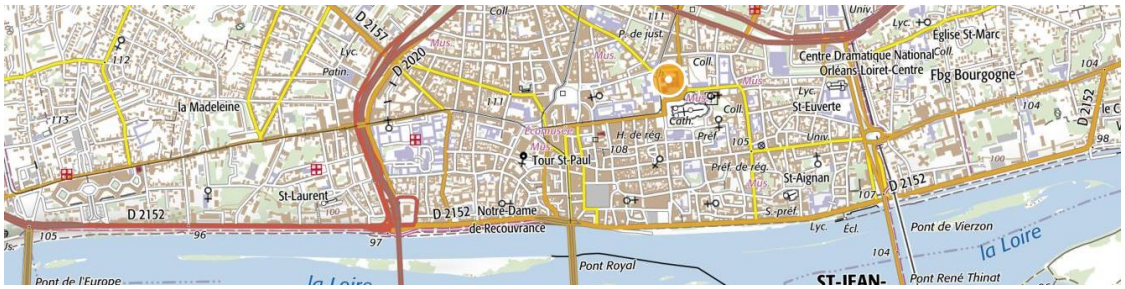


Figure 9-5 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Orléans (Géoportail)

SOCOTEC infrastructure a réalisé une analyse des données SIG de l'INSEE. L'INSEE a réalisé un quadrillage de 200m de coté qui comptabilise la population selon le dernier recensement effectué. L'analyse montre que sur la zone d'étude 1327 personnes sont touchées lors d'un épisode moyen.

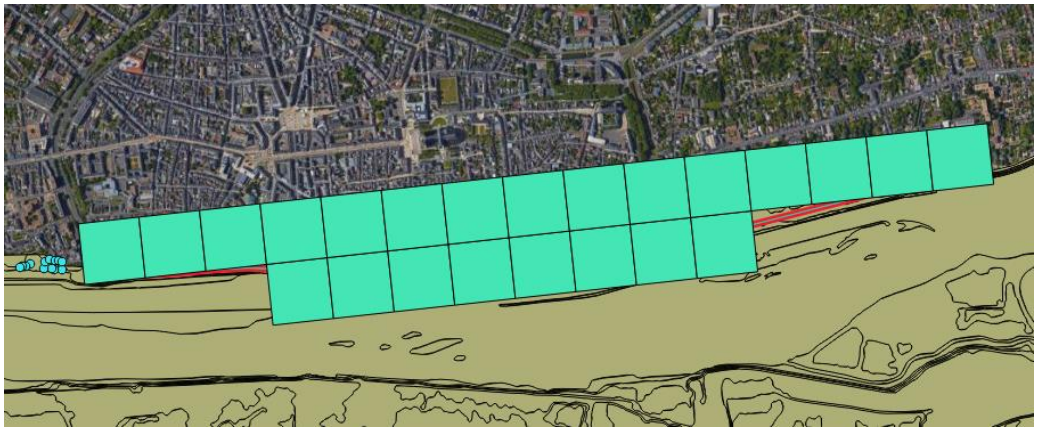


Figure 9-6 : Caractérisation des populations impactée _ données INSEE Orléans

Il conviendrait d'ajouter à cette analyse sommaire une étude détaillée sur les enjeux protégés par les systèmes de protection amovibles.

9.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

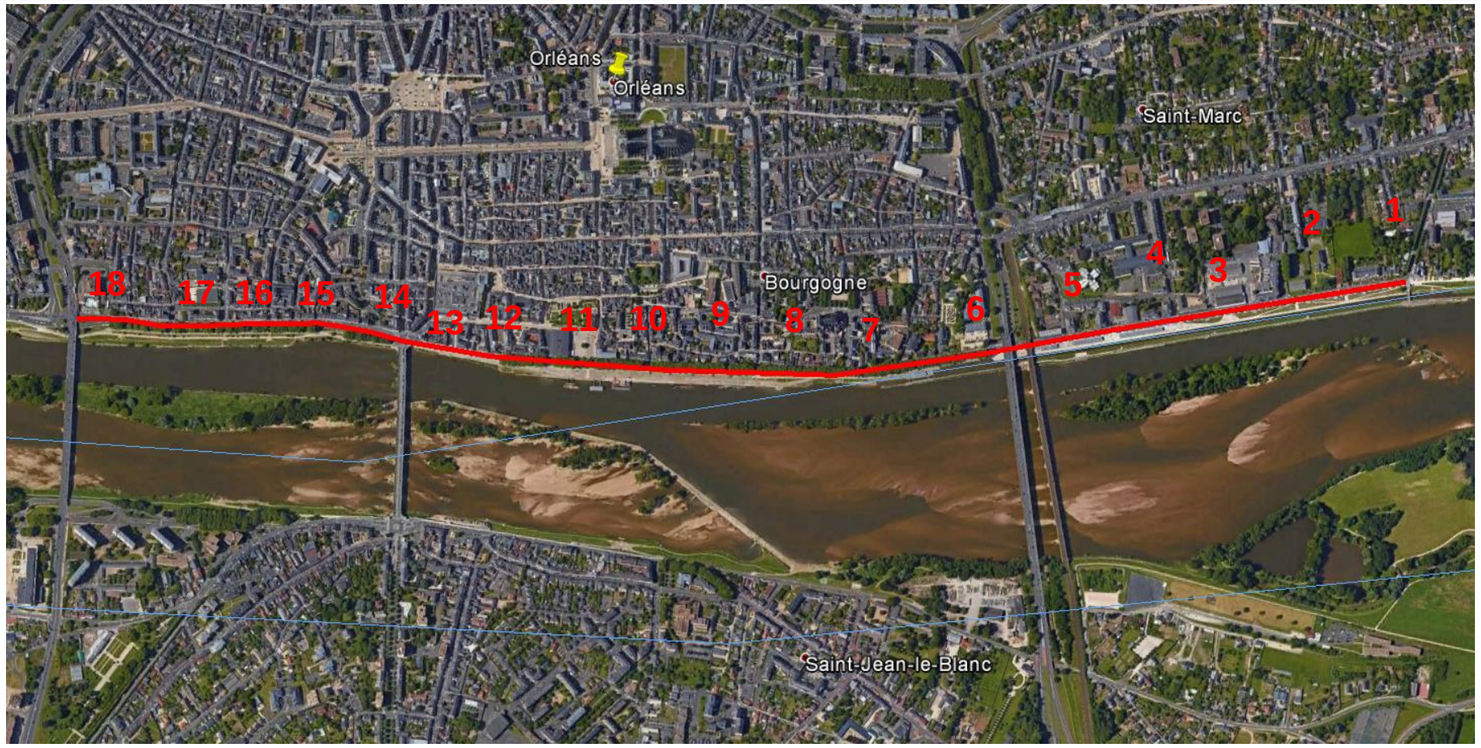
(3)

(4)

(5)

(6)

(18)



(7)

(17)

(8)

(16)

(9)

(15)

(14)

(13)

(12)

(11)

(10)

D’après la campagne de terrain réalisée par SOCOTEC infrastructure, la morphologie localisée entre les repères (1) et (2) est constante. On observe en amont du chemin de halage des habitations individuelles. En amont de ce chemin de halage se trouve un canal protégé par une digue. En cas de crue le niveau dans le canal et la Loire s’équilibre ce qui permet de protéger l’intégrité de cette digue mais rend la digue inutile.

Du repère (2) à (5), la morphologie du quai change. Bien que la topologie soit très lisse et entretenue, l’emprise est trop faible. Etant donné la présence de mobilier urbain, il est nécessaire d’installer le système de protection amovible sur la voie de circulation. On peut remarquer sur les différents clichés la présence d’un mur en merlon. Il est important de signaler que ce type de mur est totalement perméable et n’a pas de rôle de protection hydraulique.

Du repère (5) à (9), l’emprise est plus importante sur le quai. Il est donc possible d’installer des moyens de protection directement sur ces quais.

A partir du repère (9) il n’y a plus de canal en amont. L’emprise est plus importante sur le quai. Il est donc possible d’installer des moyens de protection directement sur ces quais. Du repère (9) à (18) l’emprise et la morphologie des quais est constante et permet d’installer un système unique sur tout le linéaire. Il sera à prévoir une analyse topographique fine pour optimiser la hauteur de protection par tronçon.

Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai de berge stabilisé
- Pente : nulle
- Voirie et remblai de berge terrain naturelle
- Emprise : supérieur à 4.00m
- Point sensible : mobilier urbains

9.5 Solutions préconisées

Etant donné les caractéristiques de la zone, SOCOTEC infrastructure a réalisé un comparatif pour différent type de protections amovibles. La hauteur de protection qui a été préconisée se base sur la hauteur d'eau définie dans le PPRI. Celui-ci montre l’impact d’une crue de scénario d’un phénomène moyen (occurrence de 100 à 200ans) (compris entre 1 et 2 m).

Les hauteurs correspondent environ à 1.50 m au droit des enjeux. Etant donné les incertitudes des modèles hydrauliques, nous préconisons d’installer une revanche de 0.30 m de sécurité. Soit une hauteur de 1.80m de protection.

Etant donné la configuration topographique de la zone, le régime fluvial entraînera des vitesses importantes, SOCOTEC infrastructure propose les solutions suivantes :

- Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée ;
- Système membranaire ;
- Système gonflable.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeau incliné offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.8 m, il faudra prévoir une emprise au sol de 7.2 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain a permis de vérifier ce point, notamment en installant le système sur la voirie.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable.

SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur. Les berges semblent en bon état, il serait néanmoins raisonnable de réaliser des études de stabilité de pente pour s'assurer de la stabilité du chemin de halage.

9.6 Analyse comparative

Solution initiale				
	Système incliné	*Système membranaire*	Système gonflable	Système à planchette
Longueur	2 674 m			
Hauteur	1.80 m (dont 0.30m de revanche)			
Prix (environ)	1470 k€ (550€/ml)	1872 k€ (700€/ml)	800 k€ (300€/ml)	De 5350k€ à 13 000 k€ (2k€/ml à 5k€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	<12h	<12h	>72h
Rehaussement	Difficile	Impossible	Difficile	Facile
Solidité	Très bonne	Fragile en cas d'embâcles	Fragile en cas d'embâcles	Très bonne
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m	7.20m	Environ 1 m	Quasi nulle mais nécessite des fondations
Durabilité	Bonne	Bonne	Moyenne	Très bonne

Tableau 9-1 : Comparatif pour la solution initiale – Orléans

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	***Batardeaux membranaire***	***Barrage gonflable***
Longueur	***2 674 m***		
Hauteur	***1.00 m***		
Prix (environ)	***1300 k€ (500€/ml)***	***1200 k€ (450€/ml)***	**670 k€ (250€/ml)**
Temps de mise en œuvre	***>24h***	***>3h***	**<12h**
Rehaussement	***Difficile***	***Impossible***	**Difficile**
Solidité	***Bonne***	***Fragile en cas d'embâcles***	***Fragile en cas d'embâcles***
Emprise au sol	***Environ 2 m***	***3 m***	**Pour 1.00 m de protection prévoir 1.50 m d'emprise**
Durabilité	***Bonne***	***Moyenne***	***Moyenne***

Tableau 9-2 : Comparatif pour la solution alternative– Orléans

10 TOURS

10.1 Caractéristique de la zone

Les informations suivantes sont issues du rapport SLGRI de Tours. Ce document présente les différents systèmes d'endiguement présents sur la zone. Pour les digues rive gauche de la Loire, le niveau de protection apparent correspond à une crue de période de retour 500 ans. Le niveau de sûreté actuel est assez faible et correspond à une crue de période de retour de 70 ans.

En analysant le document, on peut constater que la commune où se trouve la zone d'étude n'est pas protégé par des digues. En effet les relevés de terrain montrent que la zone est localisée en hauteur par rapport au cours d'eau. Cependant il existe deux points sensibles qui constituent des points bas et présentent une zone à protéger.

Trois types d'événement ont été analysés dans le document.

Scénario fréquent : les événements fréquents sont interprétés directement à partir de la crue de décembre 2003 sur la Loire et de celle de mai 2001 sur le Cher.

La période de retour de ce scénario est comprise entre 10 et 30 ans. Elle correspond pour la Loire au débit observé lors de la crue de 2003, soit 3 400 m3/s au bec d'Allier écrêté par le barrage de Villerest, et pour le Cher au débit observé lors de la crue de mai 2001, soit 850 m3/s à Tours

Scénario moyen : les événements moyennement probables sont interprétés avec la connaissance des crues historiques. Le scénario moyen est basé sur l'aléa de référence retenu pour réviser le PPRI Val de Tours-Val de Luynes. C'est un scénario composite qui intègre les inondations liées à la défaillance des digues lors des trois grandes crues de la Loire du XIX siècle (période de retour 150 à 200 ans et débit de l'ordre de 7000m³/s au bec d'Allier)

Scénario exceptionnel : la crue exceptionnelle est assimilée à un événement de période de retour mille ans, extrapolée à partir du résultat des modélisations de l'étude de dangers des digues du val de Tours. Le périmètre de la zone inondable est quasi similaire à celui représenté sur le scénario « moyen », les secteurs de tertres (centre historique de Tours, Rives du Cher, Deux-Lions) étant en revanche partiellement inondés.

Les hauteurs de submersion sont supérieures de plusieurs dizaines de centimètres par rapport à l'événement « moyen ».

10.2 Localisation du site d'étude

La société Hydratec a réalisé une étude sur le mode de submersion de la commune de Saint-Cyr-sur-Loire et de ses alentours. Les communes de Saint-Cyr-sur-Loire et de Fondettes se situent en rive droite de la Loire, sur les coteaux et dans la plaine que forme la confluence de la Choisille et de la Loire.

L'exutoire de la Choisille est un ouvrage en béton intégré dans la culée droite du pont routier, à l'aval immédiat du pont SNCF.

Les parties inondables de ce secteur sont les zones basses le long du lit de la Choisille, par remontée des niveaux de Loire dans la rivière confluante, et les habitations sises le long du chemin de halage à Saint-Cyr-sur-Loire.

La société Hydratec a préconisé l'installation de plusieurs ouvrages pour assurer la protection contre les inondations :

- Un ouvrage aménagé dans le lit de la Choisille pour poser des batardeaux en période de crue de la Loire, et un puits permettant l'installation de groupes mobiles de pompage pour évacuer les écoulements de la rivière vers la Loire ; cet ouvrage, nécessaire dès les crues de période de retour 50 ans, pourrait être implanté à proximité des passages sous les voiries de l'échangeur en bordure de Loire. (ce système nommé « bat1 » ne concerne pas la présente étude et est donné à titre indicatif)
- Une murette le long du chemin de halage du quartier des Maisons Blanches pour des crues de périodes de retour supérieures ou égales 70 ans, avec une partie supérieure amovible pour les crues de période de retour 200 ans. (nommée « mur1 », cette zone concerne la présente étude)
- Une murette en bordure de la RN 152 à l'amont immédiat du pont à partir des crues de période de retour 170 ans (nommée « mur2 », cette zone concerne la présente étude).

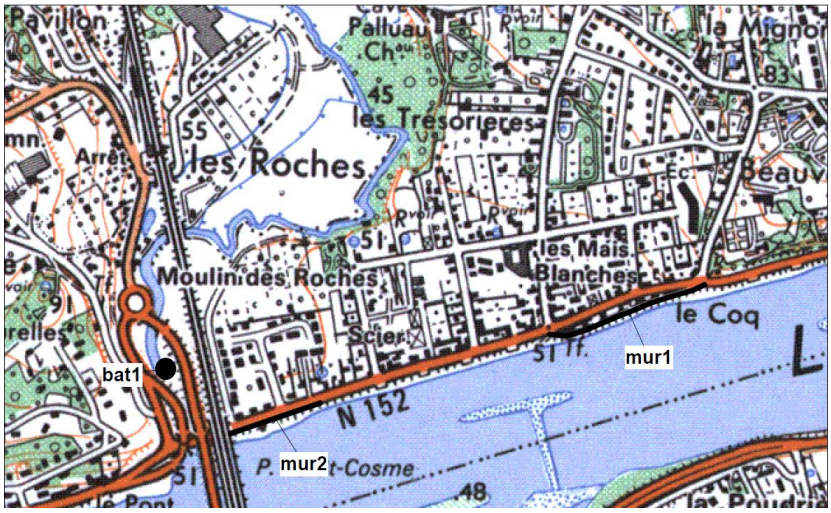


Figure 10-1 : Proposition d'aménagement Hydratec

Figure 10-2 : Linéaire étudié- Tours

10.3 Enjeux

Il n'existe pas d'étude détaillée des enjeux de cette zone. Néanmoins une analyse sommaire montre la présence de :

- Habitations,
- Lieux de cultes,
- Bâtiment de santé
- ERP.

Figure 10-3 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Saint Cyr sur Loire (Géoportail)

SOCOTEC infrastructure a réalisé une analyse des données SIG de l'INSEE. L'INSEE a réalisé un quadrillage de 200m de coté qui comptabilise la population selon le dernier recensement effectué. L'analyse montre que 419 personnes sont touchées lors d'un épisode moyen, dans la zone.

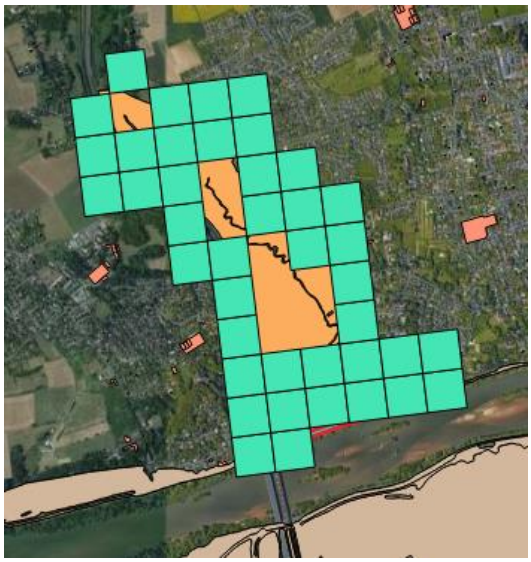


Figure 10-4 : Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Tours

Il conviendrait d'ajouter à cette analyse sommaire une étude détaillée sur les enjeux protégés par les systèmes de protection amovibles.

10.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

(9)

(10)

(11)

(12)

(13)

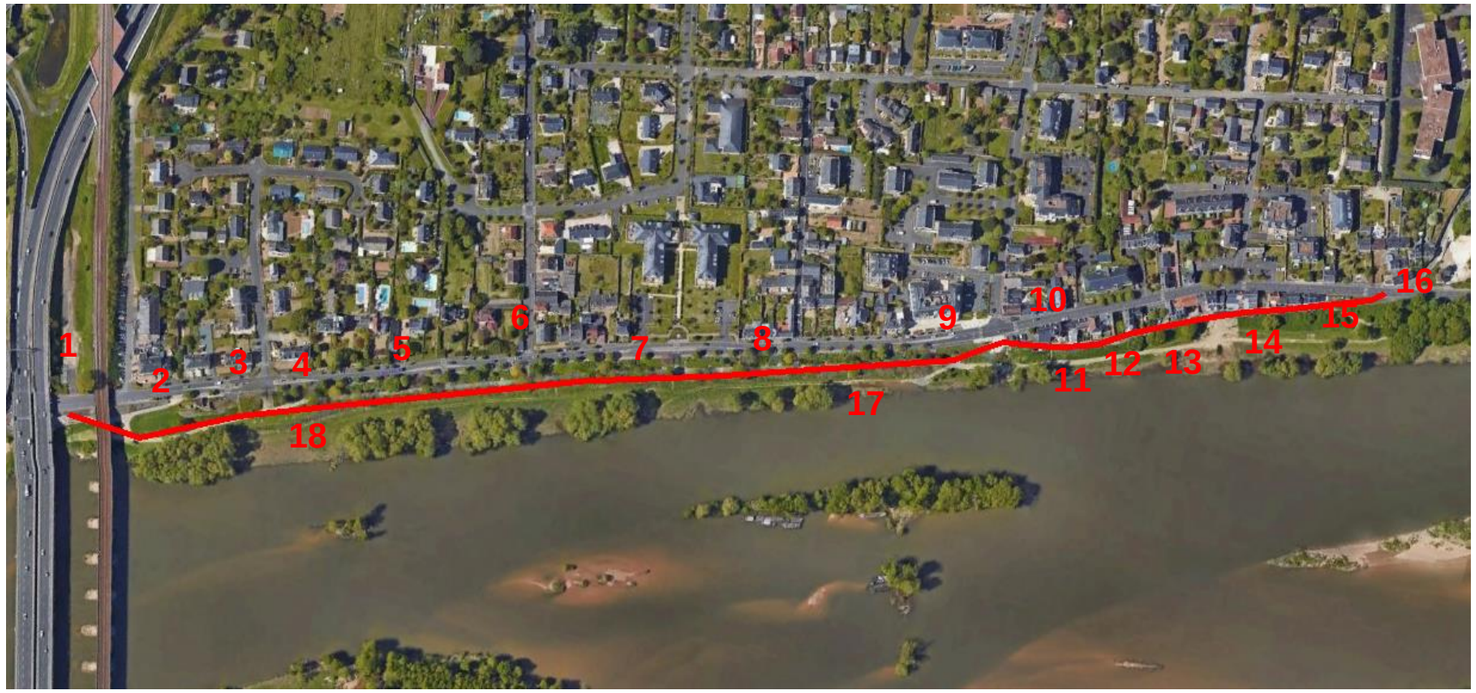
(14

(15)

(16)

(17)

(18)



D'après la campagne de terrain réalisée par SOCOTEC infrastructure, les enjeux localisés entre les photos (1) et (3) présentent un risque relativement faible. Néanmoins, l'étude d'Hydratec montre qu'il est nécessaire de surélever le muret pour se prémunir des inondations de faible occurrence.

Des repères (4) à (10) et (17) à (18), les études d'inondations montrent que le risque de submersion est faible. Il peut être envisageable toutefois de mettre en place des batardeaux de type planche inox pour une meilleure solidité, sur les ouvertures pour se prémunir d'un éventuel risque.

Le risque le plus important est localisé entre les repères (10) et (16). En effet les études hydrauliques montrent que cette zone est submergée. Il est donc envisagé de réaliser une protection en aval des habitations en bordure du cours d'eau

Figure 10-5 : Localisation de la protection amovible (tracée rouge) en amont des habitations (zone orangée)

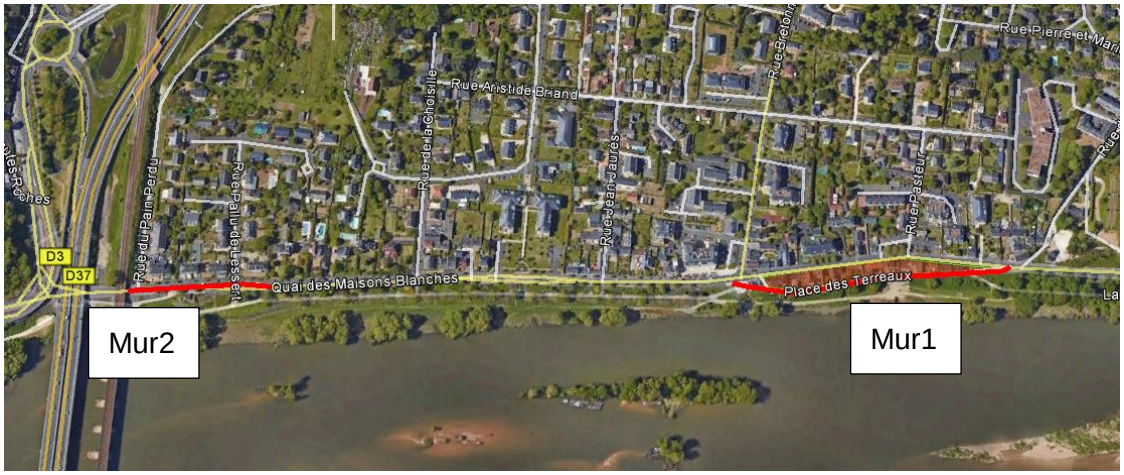


Figure 10-6 : Localisation des deux protections (tracé rouge)

Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai de berge stabilisé
- Pente : nulle
- Voirie et remblai de berge terrain naturelle
- Emprise : environ 2.50m
- Point sensible : berges

10.5 Solutions préconisées

Etant donné les caractéristiques des deux zones, SOCOTEC infrastructure a réalisé les comparatifs pour chacune des protections amovibles. La société Hydratec a préconisé la mise en œuvre d'une hauteur de protection de 0.30 m pour le « Mur2 » et des hauteurs de protection allant de 0.80 m à 1.80 m pour le « Mur1 ».

Pour le « Mur2 », SOCOTEC Infrastructure préconise de réaliser une rehausse du mur de manière permanente.

Sur le « Mur1 », SOCOTEC Infrastructure propose la mise en œuvre d'un des deux systèmes suivants :

- Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires ;
- Système à structure solide inclinée.

En effet, les deux solutions semblent adéquates pour les hauteurs d'eau considérées (1.80m + 0.30 m de sécurité). Les autres systèmes ne sont pas en mesure d'atteindre cette exigence. Etant donné le coût supplémentaire que nécessite l'installation d'une protection de 2.10 m, SOCOTEC Infrastructure réalisera l'étude pour une hauteur de protection de 1.50 m uniquement.

Système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires :

L'avantage du système de batardeau à poutrelles avec poteaux intermédiaires est qu'il permet d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. C'est également une solution permettant de supporter de fortes vitesses transversales et des impacts liés aux embâcles. Cependant, des études génie civil seront à prévoir pour le dimensionnement et la réalisation des fondations pour accueillir ce système. De plus, la mise en œuvre opérationnelle de ce type de système nécessite d'importantes ressources humaines en plus d'un temps assez long en matière d'installation.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeau incliné offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel.

En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau. En effet les berges ne semblent pas être en bon état, l'analyse est donc nécessaire.

10.6 Analyse comparative

Solution initiale			
	Système à structure inclinée	Système à planchette	Système gonflable
Longueur	310m		
Hauteur	1,50m		
Prix (environ)	310 k€ (1k€/ml)	De 600 k€ à 2 100 k€ (2k€/ml à 7k€/ml)	110k€ (350€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>24h	<12h
Rehaussement	Difficile	Facile	Difficile
Solidité	bonne	Très bonne	Fragile en cas d'embâcles
Emprise au sol	Environ 2 à 3 m en fonction de la hauteur de protection	Quasi nulle mais nécessite des fondations	Environ 2 m
Durabilité	Bonne	Très bonne	Moyenne

Tableau 10-1 : Comparatif pour la solution initiale - Tours

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants.

Solution alternative			
	Système à structure inclinée	Système membranaire	Barrage gonflable
Longueur	310 m		
Hauteur	1,00 m		
Prix (environ)	150k€ (500€/ml)	140 k€ (450€/ml)	77k€ (250€/ml)
Temps de mise en œuvre	>24h	>3h	<12h
Rehaussement	Difficile	Difficile	Difficile
Solidité	Bonne	Fragile en cas d'embâcles	Fragile en cas d'embâcles
Emprise au sol	Environ 2 m	3 m	Pour 1.00m de protection prévoir 1.50 m d'emprise
Durabilité	Bonne	Moyenne	Moyenne

Tableau 10-2 : Comparatif pour la solution alternative – Tours

11 SAUMUR

11.1 Caractéristiques de la zone

La société Hydratec a réalisé une étude sur le mode de submersion de la commune de Saumur et de ses alentours. La commune de Saumur s'étend de part et d'autre du lit de la Loire. En rive droite, les zones construites sont protégées des inondations par les levées de la RN 152 et des voies SNCF.

Entre le Thouet et la Loire en rive gauche du fleuve, le centre-ville de Saumur est cerné par des digues supportant les voiries de la RD 947 le long de la Loire, de la RD 93 le long du Thouet.

En rive gauche du Thouet, les zones avec enjeux s'étendent au pied des coteaux derrière la chaussée en remblai de la RD 751 ; les maisons riveraines de cette route côté Thouet sont surélevées par rapport au terrain naturel de la vallée de l'affluent, surtout dans les bourgs de Saint- Florent.

Sur l'île séparant en deux bras le cours de la Loire, les habitations sont présentes à l'amont et à l'aval du pont de la RN 147, et cernées par les quais équipés par endroits de murettes.

11.2 Localisation du site d'étude

En rive gauche, le quartier endigué de Saumur est inondable par débordement au-dessus d'un point bas entre la rue du Chemin Vert et la rue Robert Amy au sud du pont Fouchard, dès les crues de période de retour 50 ans.

Les premières constructions sur l'île sont touchées dès les crues de période de retour 50 ans par débordement sur les quais ; les inondations se généralisent pour inonder pratiquement toute l'île pour les crues supérieures à 70 ans.

Le long du Thouet en rive gauche, les habitations riveraines de la RD 751 sont inondées dès les crues de période de retour 50 ans, cette route n'étant par ailleurs jamais submergée pour les crues qui ont été étudiées par Hydratec à l'amont du pont de la RD 161.

Le long du Thouet en rive gauche à l'aval du pont de la RD 161, la chaussée de la RD 751 est submergée en différents points à partir des crues de période de retour 100 ans pour être complètement noyée pour les crues plus fortes sur une longueur de 2.4 km environ. Dans cette zone, les maisons sises en bordure du Thouet peuvent également subir des dommages à partir des crues de période de retour 100 ans, leur rez-de-chaussée étant proche du niveau de la voirie de la RD 751.

Après concertation, l'analyse de SOCOTEC infrastructure se porte essentiellement sur cette zone. La proposition initiale d'Hydratec est la suivante (mentionnée comme « mur 6 ») :

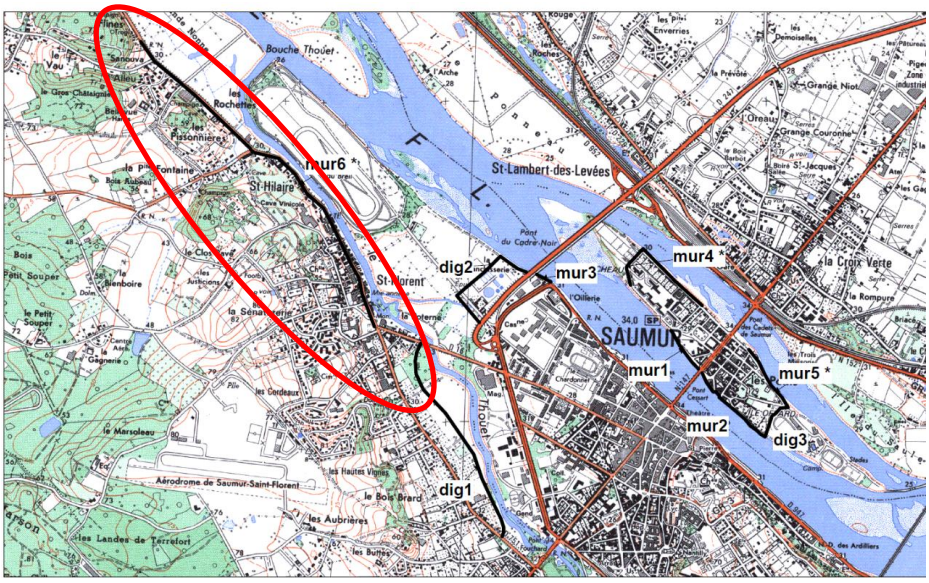


Figure 11-1 : Proposition d'aménagement Hydratec

Figure 11-2 : Linéaire étudié - Saumur

11.3 Enjeux

Les enjeux ne sont pas suffisamment détaillés dans la bibliographie. Une analyse plus fine devra être réalisée pour quantifier les dommages évités avec l'installation de protection amovibles.

Il n'existe pas d'étude détaillée des enjeux de cette zone. Néanmoins une analyse sommaire montre la présence de :

- habitations,
- Lieux de cultes,
- ERP.

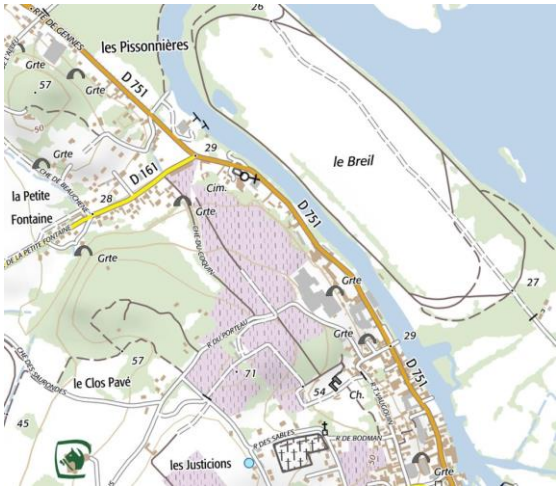


Figure 11-3 : Figure 11-4 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Saumur (Géoportail)

Cependant, la visite sur le terrain a permis d'identifier des habitations, un ERP, des jardins d'enfant et des entreprises.

SOCOTEC infrastructure a réalisé une analyse des données SIG de l'INSEE. L'INSEE a réalisé un quadrillage de 200m de coté qui comptabilise la population selon le dernier recensement effectué. L'analyse montre que 113 personnes sont touchées lors d'un épisode moyen

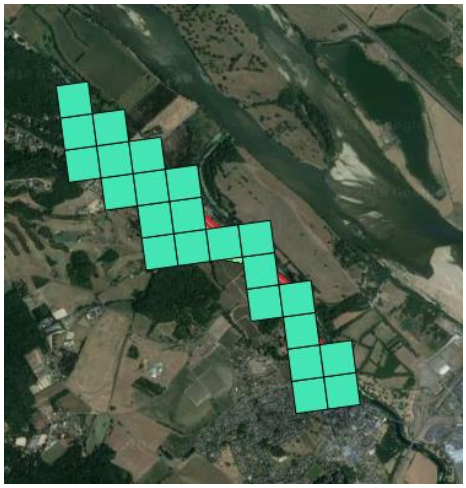


Figure 11-5 Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Saumur

Il conviendrait d'ajouter à cette analyse sommaire une étude détaillée sur les enjeux protégés par les systèmes de protection amovibles.

11.4 Analyse de terrain

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

(9)

(10

(11)

(12)

(13)

(14)

(15

(16

(18)

(17)

L'observation des cartes IGN et des photos aériennes montre clairement que la zone d'étude est localisée à proximité d'un bras mort et de marécage. Cette zone se comportera en cas de crue comme une zone d'expansion de crue. Ainsi les vitesses seront à priori réduites.

Les points (1) à (4) sont localisés en zone urbaine. Etant donné qu'une partie des habitations se situe à proximité immédiate du cours d'eau, il est quasi impossible de protéger l'ensemble des habitations. Il serait possible de réaliser la construction d'une protection permanente devant les habitations pour un coût très important). Ainsi il est nécessaire d'installer les systèmes de protection au niveau de la voirie :

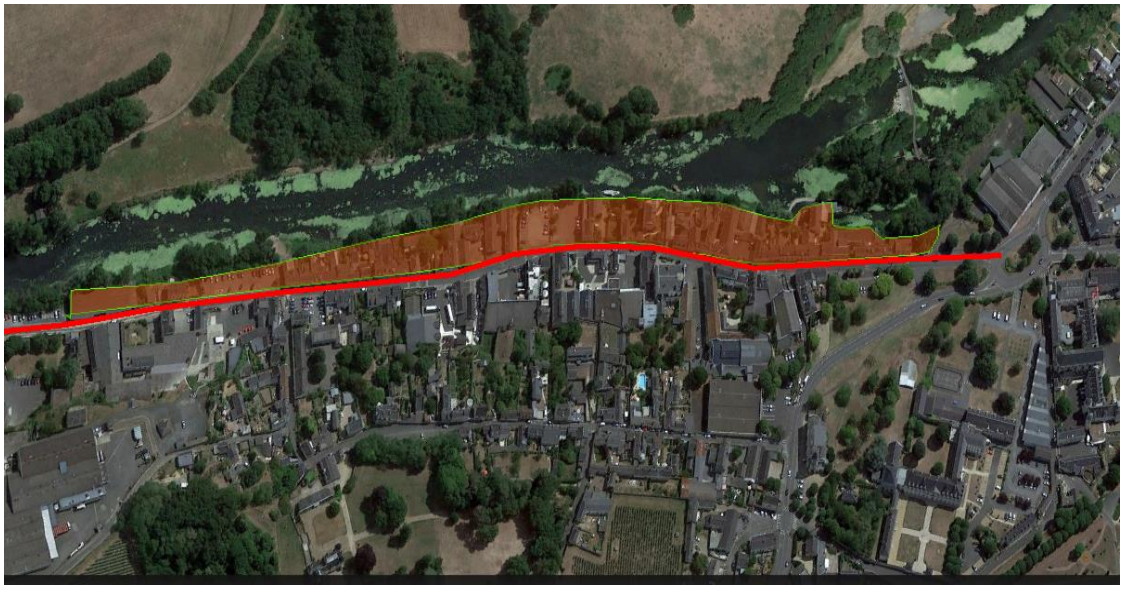


Figure 11-6 : localisation de la protection à l'arrière des habitations

Des points (4) à (18) la morphologie de la zone est homogène. La voirie se situe à l'arrière des berges. En aval est localisée la zone d'expansion de crue.

Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai de berge stabilisé
- Pente : nulle
- Voirie et remblai de berge terrain naturelle
- Emprise : supérieur à 4.00m
- Point sensible : zone urbaine

11.5 Solutions préconisées

Etant donné les caractéristiques de la zone, SOCOTEC infrastructure a réalisé le comparatif de protections amovibles sur deux systèmes :

- Système de protection membranaire (type Water-gate) ;
- Système gonflable.

Nous conseillons de mettre en place une hauteur de protection de 1.00m avec une revanche de 0.30cm pour une sécurité supplémentaire due à l'incertitude des modèles hydrauliques.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.3 m, il faudra prévoir une emprise au sol de 5.0 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain a permis de vérifier ce point, notamment en installant le système sur la voirie.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable.

SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur...

11.6 Analyse comparative

Solution initiale		
	Système membranaire	**Système gonflable**
Longueur	**2400m**	
Hauteur	**1,00 m + 0.30m (de revanche)**	
Prix (environ)	**1200 k€ (500€/ml)**	**720k € (300€/ml)**
Temps de mise en œuvre	**<6h**	**<6h**
Rehaussement	**Impossible**	**difficile**
Solidité	**Moyenne**	**Moyenne**
Emprise au sol	**Environ 2 m**	**Environ 1.50**
Durabilité	**Bonne**	**Bonne**

Tableau 11-1 : Comparatif pour la solution initiale – Saumur

Cette hypothèse est complétée par l'analyse d'une solution alternative, pour une hauteur de protection inférieure (1.00 m) avec des systèmes amovibles gonflables ou membranaires, afin notamment de comparer les faisabilités techniques et les coûts correspondants

Solution alternative		
	Système membranaire	**Système gonflable**
Longueur	**2400m**	
Hauteur	**1,00 m**	
Prix (environ)	**1080 k€ (450€/ml)**	**600k € (250€/ml)**
Temps de mise en œuvre	**<6h**	**<6h**
Rehaussement	**Impossible**	**difficile**
Solidité	**Moyenne**	**Moyenne**
Emprise au sol	**Environ 2 m**	**Environ 1.50**
Durabilité	**Bonne**	**Bonne**

Tableau 11-2 : Comparatif pour la solution alternative - Saumur

12 NANTES

12.1 Caractéristiques de la zone

Les informations suivantes sont issues de la note de présentation du PPRI de Nantes.

Sur la commune de Nantes, à partir du pont de Bellevue (en rive droite), la Loire reçoit le ruisseau de l'Aubinière. Pour la crue de référence, le remous de la Loire va remonter dans le ruisseau de l'Aubinière et son affluent les Gohards pour inonder tout le secteur.

Comme une partie de la plaine en rive droite est occupée par les voies ferroviaires en remblai, les zones inondables de la Loire sont constituées de terrains naturels sans remblai derrière les voies ferroviaires. Les liaisons hydrauliques se font par les passages sous les voies ferroviaires.

Lors des grandes crues, les eaux vont remonter dans ces passages en inondant une partie de la plaine inondable de la Loire derrière les remblais. De la même manière, de larges secteurs en amont de Nantes sont inondés.

Dans la traversée de Nantes, la Loire est divisée en deux bras aménagés, suite aux comblements des bras secondaires survenus dans les années 1940 et au remblaiement des îles constituant l'île unique de Beaulieu. Pour une crue de type « crue de référence », une petite partie basse de l'île sera touchée (les espaces publics et quelques bâtiments). Le stade Michel Lecointre sera inondé par le débordement direct de la Loire via le boulevard Maurice Bertin. L'aléa reste faible sur ce stade.

Dans le secteur du Champ de Mars, les sous-sols de la Cité internationale et des Congrès sont inondables. De la même façon que pour l'ensemble des niveaux souterrains de l'agglomération nantaise, seuls les niveaux du terrain naturel concernés ont été cartographiés comme inondable. Sur la partie basse de l'île de Feydeau (quartiers historiques), les bordures immédiates seront touchées par le débordement direct de la Loire et toute la partie basse de l'île sera inondée par la remontée de la crue dans les réseaux pluviaux.

Les secteurs du Palais de justice et les Machines de l'île seront inondés par le débordement direct de la Loire via les rues d'Olympe de Gouges, de la Noue Bras de Fer et le boulevard Léon Bureau.

12.2 Localisation du site d'étude

Le site à l'étude concerne donc le centre historique en rive droite de Nantes. La carte des aléas issue des données disponibles sur le site Data.gouv présente les risques en rive droite : les zones à risque se situent à proximité d'habitation et du CHU de Nantes.

La zone d'aléas est localisée au niveau quai André Monce, en amont du pont du Général Audebert. Les inondations sont localisées sur la rue des Olivettes qui constitue un point bas.

Figure 12-1 : Localisation du linéaire de protection

Le profil topographique du linéaire est le suivant :

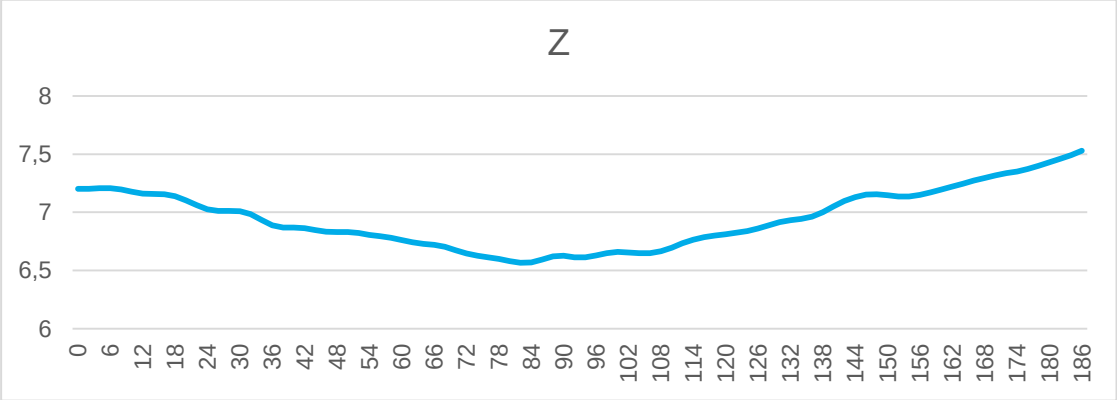


Figure 12-2 : Profil topographique Nantes

12.3 Enjeux

Il n'existe pas d'étude détaillée des enjeux de cette zone. Néanmoins une analyse sommaire montre la présence de :

- habitations,
- lieux de culte,
- lieux d'enseignement,
- un centre hospitalier.

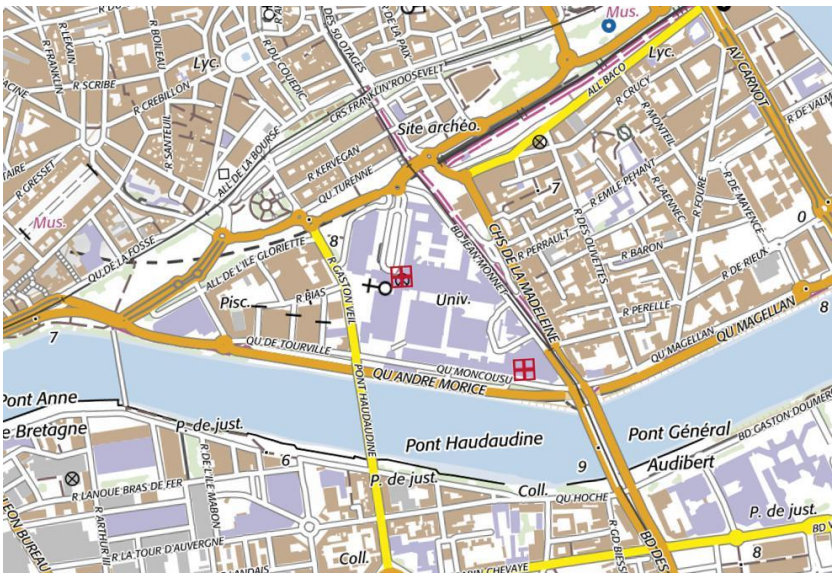


Figure 12-3 : Enjeux localisés sur la zone d'étude à Nantes (Géoportail)

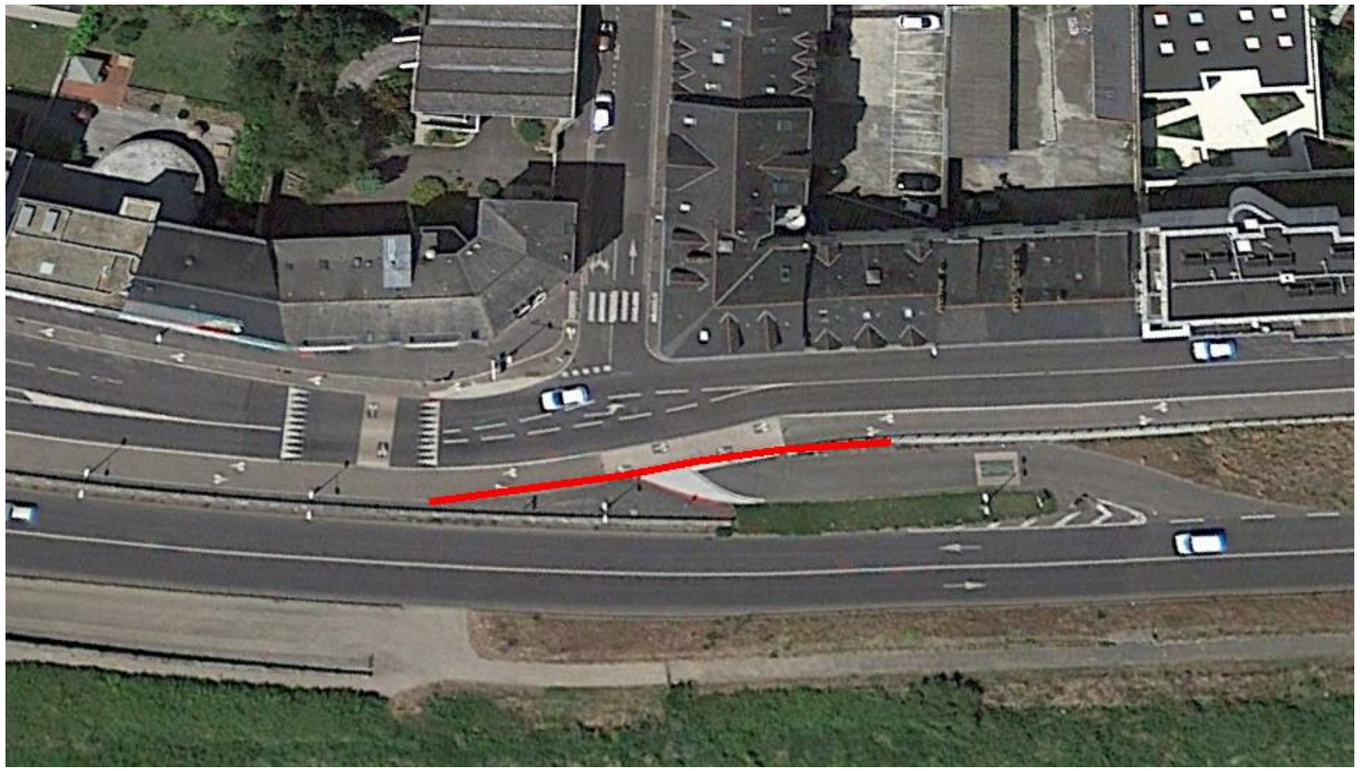
SOCOTEC infrastructure a réalisé une analyse des données SIG de l'INSEE. L'INSEE a réalisé un quadrillage de 200m de coté qui comptabilise la population selon le dernier recensement effectué.

L'analyse montre que 1284 personnes sont touchées lors d'un épisode moyen.

Figure 12-4 : Caractérisation des populations impactée _données INSEE_ Nantes

Il conviendrait d'ajouter à cette analyse sommaire une étude détaillée sur les enjeux protégés par les systèmes de protection amovibles.

12.1 Analyse de terrain



Les caractéristiques du terrain sont les suivants :

- Sols : remblai de berge stabilisé
- Pente : faible
- Voirie et remblai
- Emprise : supérieur à 4.00m
- Point sensible : mobilier urbains

12.2 Solutions préconisées

Etant donné les caractéristiques de la zone, SOCOTEC infrastructure a réalisé le comparatif de protections amovibles sur deux systèmes :

- Système de protection membranaire (type Water-gate) ;
- Système gonflable ;
- Système à structure solide inclinée.

Etant donné les incertitudes des modèles hydrauliques, nous préconisons d'installer une revanche de 0.30 m de sécurité.

Système à structure solide inclinée :

L'avantage du système à structure inclinée est qu'il ne nécessite pas la réalisation de fondations définitives. L'inconvénient est que ce système ne permet pas d'ajuster la hauteur des batardeaux en fonction de la hauteur de protection souhaitée. La solution de batardeau incliné offre elle aussi une bonne tenue par rapport à la forte vitesse de l'eau ainsi qu'aux impacts liés aux embâcles charriés par le fleuve. Ce type de système nécessite néanmoins d'importantes ressources humaines en plus d'un temps d'installation relativement long pour son déploiement opérationnel. En outre des études de stabilité de pente des berges seront à prévoir pour s'assurer de la stabilité en cas de saturation des sols en eau.

Système membranaire et Système gonflable :

L'installation des batardeaux membranaires ou gonflables est moins onéreuse qu'une structure rigide. Le système membranaire permet un déploiement rapide pour un coût relativement faible 300 à 700 €/ml). Par ailleurs en suivant les préconisations des constructeurs, pour une hauteur de protection de 1.5 m, il faudra prévoir une emprise au sol de 6.0 m afin de déployer le système membranaire. Or la visite effectuée sur le terrain a permis de vérifier ce point, notamment en installant le système sur la voirie.

Pour un coût moindre que le système membranaire et un temps de déploiement identique, il y a la possibilité de l'installation d'un système gonflable.

Cependant l'inconvénient de ces systèmes, que ce soit membranaires ou gonflables, est qu'ils ne permettent pas d'assurer une résistance optimale aux fortes vitesses.

Afin de satisfaire leurs tenues aux déchirements et aux chocs d'embâcles il est nécessaire de réaliser une protection en planche devant le système gonflable. Pour le système membranaire, le constructeur indique que le système résiste aux embâcles et qu'en cas de déchirure le système est facilement réparable.

SOCOTEC Infrastructure préconise que le déploiement de ces 2 dernières solutions fasse l'objet d'une analyse hydrodynamique plus poussée pour vérifier les conditions hydrauliques et le risque lié à la présence de corps flottants sur le secteur.

12.3 Analyse comparative

Solution initiale			
	Système membranaire	**Système gonflable**	**Système incliné**
Longueur	**275 m**		
Hauteur	**1.00 m**		
Prix (environ)	**123 k€ (450€/ml)**	**68 k€ (250€/ml)**	**140 k€ (500 k€/ml)**
Temps de mise en œuvre	**<6h**	**<6h**	**>24h**
Rehaussement	**Impossible**	**difficile**	**Difficile**
Solidité	**Moyenne**	**Moyenne**	**Très bonne**
Emprise au sol	**Environ 2 à 3 m**	**Environ 1.50 m**	**Environ 2 à 3 m**
Durabilité	**Bonne**	**Bonne**	**Bonne**

Tableau 12-1 : Comparatif pour la solution initiale – Nantes

13 OBLIGATION REGLEMENTAIRE

Les digues amovibles font partie d'un système d'endiguement au sens du Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques. Comme le mentionne la Sous-section 1 :

« Ce système comprend une ou plusieurs digues ainsi que tout ouvrage nécessaire à son efficacité et à son bon fonctionnement, notamment :

- des ouvrages, autres que des barrages, qui, eu égard à leur localisation et à leurs caractéristiques, complètent la prévention ;
- des dispositifs de régulation des écoulements hydrauliques tels que vannes et stations de pompage. »

Le système amovible est donc à considérer comme un ouvrage fixe, soumis aux mêmes obligations qu'une digue « standard » et dépend de l'établissement possédant la compétence GEMAPI.

L'article Art. R. 562-14.-I.- précise : « Le système d'endiguement est soumis à une autorisation en application des articles L. 214-3 et R. 214-1, dont la demande est présentée par la commune ou l'établissement public de coopération intercommunale compétent. »

Le Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 adapte le décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 qui indique que le gestionnaire des ouvrages doit réaliser les missions réglementaires suivantes :

- Visite Technique Approfondie ;
- Etude de Danger ;
- Rapport de surveillance ;
- La revue de sûreté ;
- …

SOCOTEC Infrastructure s'est rapproché de la commune de Givet et de l'Etablissement Public d'Aménagement de la Meuse de ses Affluents (EPAMA) pour déterminer l'aspect réglementaire de leur ouvrage amovible.

Ces collectivités ont participé à la création de la digue amovible de la commune de Givet.

L'EPAMA signale que ce type de digue amovible est en lien étroit avec le plan communal de sauvegarde (PCS). Il est donc primordial de réaliser un accord entre la commune qui réalise les plans d'urgence et qui s'occupe du stockage de la maintenance, du montage des digues, la réalisation de VTA en cas d'inondation et le gestionnaire des digues qui gère les systèmes d'endiguement et qui organise la sécurité des ouvrages.

14 CONCLUSION

Pour l'ensemble des 11 sites étudiés, SOCOTEC Infrastructure a proposé des solutions de protection amovibles en fonction des hauteurs d'eau spécifiques à chaque site. Certains sites disposent de nombreuses informations qui permettent de déterminer de manière assez précise les hauteurs d'eau au droit des protections lors d'épisodes de crue précis. C'est le cas pour les communes de Gien, Charité sur Loire et Briare. Les modèles qui sont présentés dans les rapports ne mentionnent pas les vitesses aux droits des ouvrages : ces points seront à éclaircir dans une nouvelle étude.

Pour les autres sites, les seuls modèles qui sont à notre disposition sont ceux des études PPRI : il sera donc nécessaire de réaliser des études plus spécifiques aux sites étudiés.

Ces études devront comprendre a minima un modèle hydraulique qui présentera pour la crue étudiée les hauteurs d'eau précises et les vitesses au droit des ouvrages.

De plus pour les sites en bordure de berges, il sera nécessaire de réaliser une étude de stabilité géotechnique.

Enfin pour une parfaite installation de ces protections, SOCOTEC Infrastructure préconise de réaliser une étude Coûts – bénéfices et une analyse multicritère.