

9 Annexes

9.1 Annexe technique sur l'aléa submersion marine

Ce chapitre développe la méthodologie nécessaire à la qualification de l'aléa de submersion marine. La méthodologie est issue du guide du PPRLIN de mai 2014 réalisé par la Direction Générale de la Prévention des Risques. - Service des Risques Naturels et Hydrauliques. Elle a été adaptée dans le cadre de ce PPRLI par rapport aux spécificités locales et ce, en accord, avec la DDTM 76 et le CEREMA.

La caractérisation de cet aléa submersion passe par 6 étapes à savoir :

Etapas de la définition de l'aléa submersion	Outils spécifiques
1 – Définition des évènements à retenir pour l'analyse : tempêtes historiques de période de retour > ou = à 100 ans et évènements théoriques de période de retour 100 ans	Analyse statistique
2 – Définition du niveau marin de référence (NMR)	Modélisation maritime pour définir pour chaque tronçon de côte chacun des 2 paramètres référence (les plus contraignant), parmi le panel des évènements analysés.
3 – Définition des volumes franchis de référence	
4 – Choix du scénario de référence pour chaque bassin de risque Définition de l'évènement de référence pour chaque tronçon Définition de l'hypothèse de défaillance de la structure de protection de chaque tronçon (si existante)	
5 – Caractérisation de l'aléa à terre : définition de l'enveloppe de submersion et de ses caractéristiques hydrauliques	Modélisation terrestre des volumes entrants à terre
6 – Qualification de l'aléa : Faible / Modéré / Fort / Très Fort	

Figure 31 : Schéma de la démarche de définition de l'aléa

9.1.1 Etape 1 : Définition des évènements maritimes à retenir pour l'analyse de l'aléa

Un évènement maritime correspond à un couple niveau marin / houle :

- Niveau marin : Le niveau marin intègre le niveau d'eau lié à la marée (cote m NGF) et la surcote liée à la tempête (dépression atmosphérique)
- Houle : Il s'agit de l'oscillation régulière de la surface de la mer, qui va également générer une surcote

9.1.1.1 La tempête du 26 février 1990

Cette tempête du 26 février 1990 qui a causé de nombreux dégâts et de la submersion s'est produit dans un contexte particulier. En effet, le début d'année 1990 a été marqué par de nombreuses tempêtes qui ont progressivement mis à mal le cordon de galets présent au pied de la digue. Celui-ci était fortement arasé au moment de la tempête du 26 février 1990. Ainsi, la conjonction entre :

- une marée astronomique élevée de coefficient 102,
- une tempête se produisant au même moment que la pleine mer,
- un cordon de galets amoindri au pied de la digue,
- une houle de l'ordre de $H_s=4,71$ m (valeur au point ANEMOC 3232), soit une tempête de période de retour comprise entre 5 et 10 ans.

a rendu cette tempête mémorable en termes de dégâts et de submersion.

L'analyse des niveaux d'eau du marégraphe de Dieppe fournis par le REFMAR montrent que les valeurs de niveaux enregistrés lors de la tempête du 26 février 1990 étaient manquantes.

Cependant, le Cerema, DTerNC Blois nous a fournis dans le cadre de ce PPRL, un document papier avec les niveaux mesurés au marégraphe de Dieppe (cf. ci-après).

Le marégramme a été retranscrit en format numérique et comparé avec les mesures enregistrés avec les prédictions du SHOM afin d'avoir une approximation de la surcote au moment de la tempête.

La figure ci-après présente cette analyse :

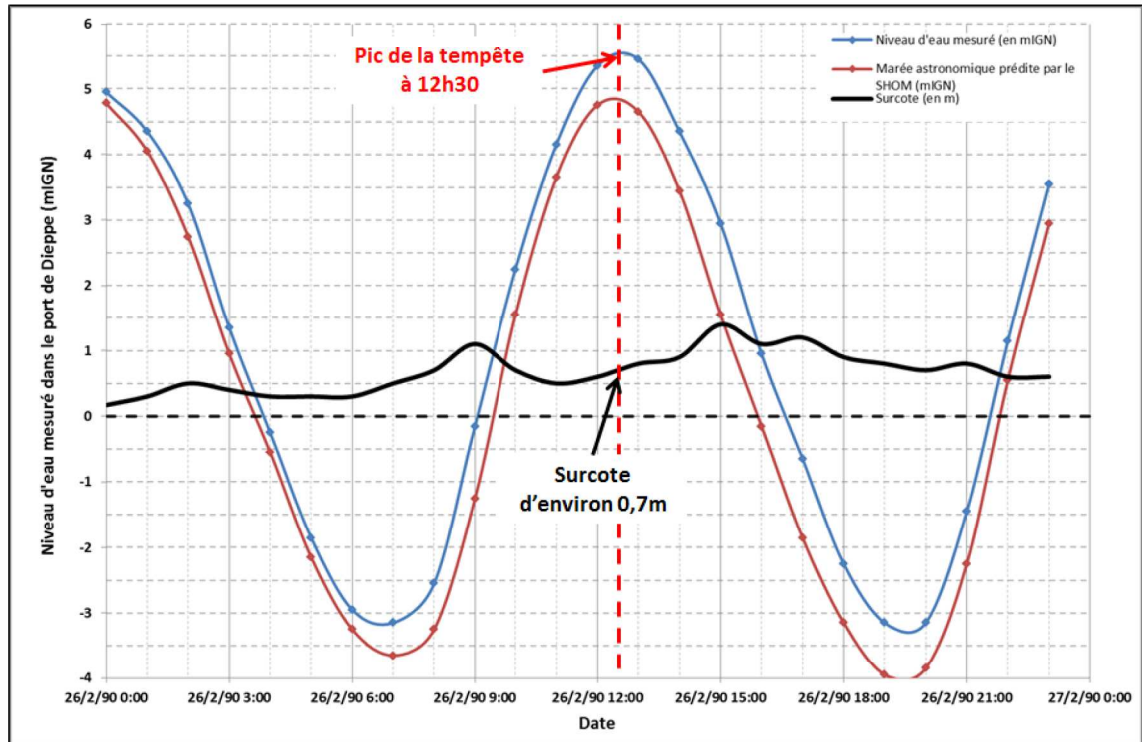


Figure 32 : Analyse des niveaux d'eau à Dieppe lors de la tempête du 26 février 1990

Les caractéristiques de l'évènement historique du 26 février 1990 retenues pour l'étude du PPRLI sont : $H_s = 4,71$ m, $T_p = 11,1$ s, $Dir = N284^\circ$ et $Niv = +5,75$ m IGN.

9.1.1.2 La tempête de mars 2008

La tempête du 10 Mars 2008 a touché la pointe nord-ouest de l'Europe pendant une marée de vive-eau engendrant de nombreux dégâts et des cas de submersion sur les côtes nord-ouest de la France. La Haute-Normandie a été touchée dans la nuit du 10 au 11 mars 2008 durant la pleine mer et pendant le passage de la « traîne active ». A Pourville-sur-Mer, la submersion a été sévère. Les observations et les études réalisées sur cette tempête s'accordent sur le caractère exceptionnel du phénomène.

Le document de prévision pour 24 h 00 UTC proposait, à proximité de la côte d'Albâtre, une « mer totale » (superposition de la mer du vent et des houles) « très forte » devant Etretat ($H_{1/3}$ supérieure à 4 m) et forte devant Pourville ($H_{1/3}$ supérieure à 2,50 m). Dans l'intervalle 18h/24h le modèle faisait passer la direction de la mer du vent, de sud-ouest à ouest et mettait en place un système relativement complexe de houle primaire. Le modèle de 00h UTC proposait, au point de grille 50,1 N et 1,0 E (soit 17 km au droit de Pourville) pour le 10 mars à 24 heures UTC, une « mer totale » d'ouest, de 3,90 m, comportant une « houle primaire » (la plus énergétique) de nord-ouest, avec pour hauteur 0,60 m et période 9 secondes.

Le modèle semble bien avoir rendu compte de la réfraction progressive que subissaient les vagues en provenance du large, vers les côtes françaises, comme anglaises, lesquelles ont généré de nombreux franchissements d'ouvrage au moment de la pleine mer.

Les caractéristiques de l'évènement historique du 10 mars 2008 retenues pour l'étude du PPRLI sont : $H_s = 3,9$ m, $T_p = 9$ s, $Dir = N280^\circ$ et $Niv = +5,68$ m IGN.

9.1.1.3 La période de retour de ces tempêtes historiques estimées au large

Le graphique suivant présente l'occurrence des tempêtes du 26 février 1990 et du 10 mars 2008 par rapport aux événements centennaux déterminés par analyse statistique.

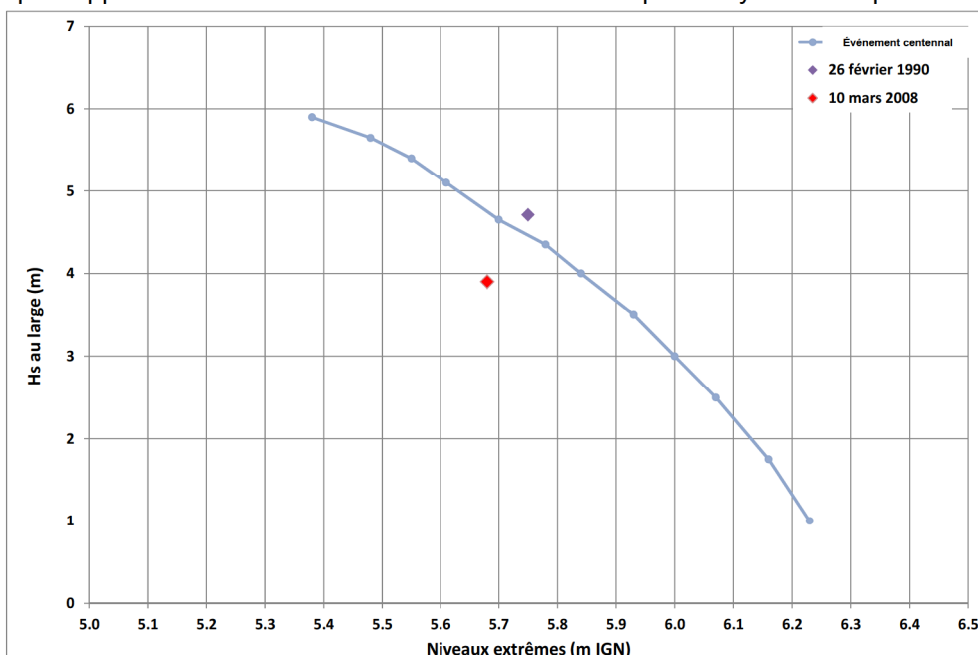


Figure 33 : Comparaison des tempêtes du 26 février 1990 et du 10 mars 2008 par rapport à un événement marin centennal à Pourville

On constate que la tempête du 10 mars 2008 a une occurrence moins que centennale et que la tempête du 26 février 1990 a une occurrence plus que centennale.

Ainsi, sur le littoral de Pourville-sur-Mer, la tempête du 26 février 1990 représente un événement de référence historique à étudier.

Caractéristiques de l'évènement historique du 26 février 1990 retenues pour l'étude du PPRLI sont : Hs = 4,71 m, Tp = 11,1 s, Dir = N284° et Niv = +5,75 m IGN.

9.1.2 Etape 2 : Définition des niveaux marins de référence à la côte et dans les estuaires

Qu'est-ce qu'un niveau marin ?

- Le niveau marin au large intègre :
 1. Un niveau de marée PMVE : pleine mer de vives-eaux (coefficient 95) ou BMVE : basse mer de vives-eaux (coefficient 95) ;
 2. Une surcote liée aux phénomènes météorologiques (vent + pression).
- La hauteur de set-up

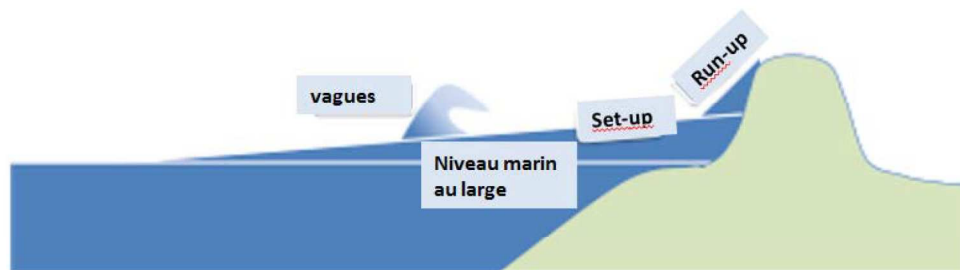


Figure 34 : principe du set-up

La hausse future du niveau des mers due au réchauffement climatique. Dans le cadre d'un PPRLI, il est signifié d'intégrer systématiquement au niveau marin de référence une surcote de 20 cm constituant une première étape de prise en compte du changement climatique (et hausse de +60 cm pour l'état à 100 ans)

- Enfin, les niveaux marins à la côte pour chacune des communes ont été déterminés en ajoutant également les incertitudes (+25 cm), conformément au guide méthodologique national. Le tableau ci-après justifie la prise en compte de ces 25 cm à l'échelle du PPRLI.

Incertitudes	Définition de l'incertitude	Qualification de l'incertitude
Intervalle de confiance données statistiques SHOM	Statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France - Cartes des niveaux marins théoriques de pleines et basses mers pour les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) – version 2008 et 2012 Données valables uniquement pour les données théoriques.	Le SHOM, organisme référent dans le domaine précise qu'il existe des incertitudes. La loi d'ajustement statistique comporte un intervalle de confiance et donc une incertitude d'environ 10%. Ces 10% représentent déjà + de 25 cm.
Incertitude données anemoc	Les données de houle utilisées pour notre étude proviennent de l'Atlas ANEMOC (Atlas Numérique des Etats de Mer Océaniques et Côtiers) issu d'une collaboration entre le CETMEF et EDF. Ces données résultent de simulations numériques de houle. Ces séries s'étendant sur une période de 23 ans et 8 mois (de Janvier 1979 à Août 2002) avec un pas de temps horaire permettent de réaliser des études statistiques. Le guide méthodologique du PPRL préconise de retenir les données Anemoc.	La loi d'ajustement statistique comporte un intervalle de confiance et donc une incertitude.

Figure 35 : Justification des incertitudes prises en compte pour établir le niveau marin à la côte

Le niveau marin est donc défini :

- dans l'état actuel (intégrant une surcote liée au changement climatique de +20 cm) ;
- à 100 ans (intégrant une surcote liée au changement climatique de + 60 cm, soit 40 cm de plus que dans l'état actuel).

Comment le niveau marin de référence est-il défini à la côte ?

Pour définir le niveau marin le plus important à la côte, il est nécessaire de comparer les niveaux marins à la côte pour les tempêtes historiques et pour l'évènement de période de retour 100 ans.

Cette analyse est réalisée en plusieurs étapes :

- Détermination des tempêtes historiques les plus impactantes à la côte et ayant une période de retour au large, égale ou supérieure à 100 ans ;
- une fois les évènements les plus impactant définis, il a été réalisé une modélisation des houles depuis le large vers la côte pour définir le set-up pour chacun de ces évènements en chaque point de la côte ;
- Le niveau marin à la côte est ainsi défini pour chaque évènement ;
- Une comparaison de ces niveaux marins sur chaque secteur homogène de la côte permet de définir l'évènement générant les niveaux les plus importants et la cote du niveau marin le plus important.

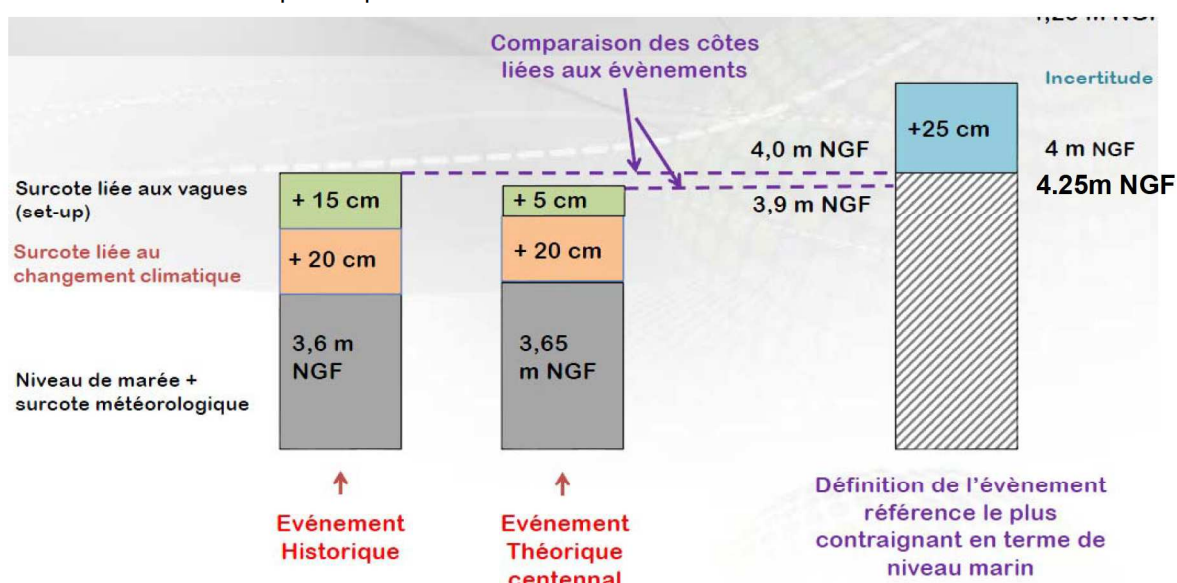


Figure 36 : Exemple fictif de définition du niveau référence à la côte (pour ce cas, il serait alors retenu l'évènement historique)

Quels sont les résultats ?

12 événements centennaux (cas de 1 à 12), 1 événement historique, la tempête du 26 février 1990 (cas 13) et 1 événement à l'horizon 2100 ont été analysés. Le tableau suivant présente les hauteurs maximales devant le site d'étude considérées dans le cadre du calcul des franchissements :

POURVILLE-SUR-MER	
Cas de calculs	Houle Hs (m)
1	3.45
2	3.45
3	3.40
4	3.40
5	3.30
6	3.25
7	3.10
8	3.00
9	2.75
10	2.55
11	2.20
12	2.00
13	3.40
14	3.60

Tableau 13 : Hauteurs maximales devant le site

Le wave setup représente la hausse du niveau de la mer à la côte due au déferlement des vagues. Cette valeur de setup est à additionner au niveau d'eau extrême calculé au chapitre 4 pour obtenir le niveau d'eau extrême en tempête à la côte.

Le calcul du wave setup a été effectué à partir de niveaux d'eau prenant en compte :

- Un niveau de marée PMVE : pleine mer de vives-eaux (coefficient 95),
- Une surcote liée aux phénomènes météorologiques (vent + pression).
- La hausse future du niveau des mers due au changement climatique. Dans le cadre d'un PPRLI, il est signifié d'intégrer systématiquement au niveau marin de référence une surcote de 20 cm constituant une première étape de prise en compte du changement climatique (cf. B2]) (hausse de +60 cm pour le cas n°14 à 100 ans). Une hausse de +10 cm liée à la subsidence pour le cas n°14 à 100 ans.
- Les incertitudes : +25 cm.

Ainsi, grâce à l'ajout des valeurs calculées du setup, les niveaux d'eau maximums à la côte ont été déterminés.

Le tableau suivant présente les valeurs de wave setup et de niveaux extrêmes à considérer devant le site d'étude dans le cadre de l'analyse de l'aléa submersion :

POURVILLE-SUR-MER				
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	5.38	0.45	0.56	6.39
2	5.48	0.45	0.55	6.48
3	5.55	0.45	0.52	6.52
4	5.61	0.45	0.50	6.56
5	5.70	0.45	0.47	6.62
6	5.78	0.45	0.44	6.67
7	5.84	0.45	0.39	6.68
8	5.93	0.45	0.35	6.73
9	6.00	0.45	0.28	6.73
10	6.07	0.45	0.24	6.76
11	6.16	0.45	0.16	6.77
12	6.23	0.45	0.07	6.75
13	5.75	0.45	0.48	6.68
14	5.75	0.95	0.37	7.07

Tableau 14 : Niveaux d'eau extrêmes devant le site

Les estimations des niveaux extrêmes avec prise en compte du réchauffement climatique et des incertitudes sont les suivantes :

- 7.07 m NGF pour la tempête de 1990 à l'horizon 2100 ;
- 6.68 m NGF pour la tempête de 1990 ;
- 6.77 m NGF pour le cas 11.

Ces niveaux seront comparés par la suite à la cote de la digue de Pourville pour appréhender le phénomène de submersion.

Y a-t-il débordement par surverse sur la digue de Pourville ?

La topo-bathy du levé LIDAR de 2008 a été utilisée pour l'analyse des débordements par surverse. Un différentiel entre le niveau d'eau extrême (comprenant le wave setup, changement climatique et les incertitudes) et la crête de la digue a été réalisé.

L'altimétrie de la digue est supérieure au niveau extrême + 7.07 m NGF (cas 14, tempête à l'horizon 2100). Il n'y a pas de risque de débordement par surverse.

Quel cycle de marée prend-on en compte ?

Selon que l'évènement de référence soit l'aléa de tempête historique ou l'aléa centennal, le cycle complet d'une marée sera déterminé de deux manières différentes.

Pour l'évènement de tempête du 26 février 1990, le cycle complet de la marée enregistrée au marégramme de Dieppe est disponible et est rappelé sur la figure suivante :

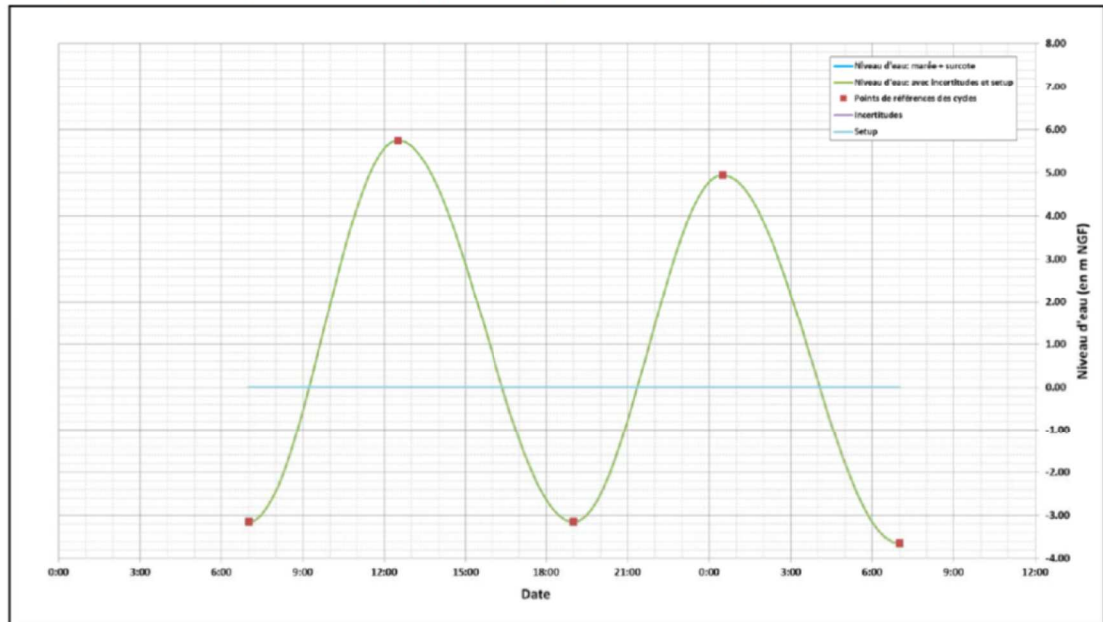


Figure 37 : Exemples de cycles de marées pour l'évènement de tempête du 26-02-1990

Pour les évènements centennaux, les niveaux d'eau de pleine mer sont issus des niveaux d'eau extrêmes¹ et les niveaux d'eau de basse mer sont issus des caractéristiques générales de marée.

A ces niveaux de marée sont ajoutés les niveaux de setup évalués par les modélisations de propagation de la houle ainsi que les incertitudes (incertitudes sur les données, changement climatique, subsidence, etc...).

Dans le cadre de notre étude, l'estimation des incertitudes n'est pas possible donc il est recommandé dans le guide du PPRLI de considérer une marge maximale de sécurité de 0,25 m afin de s'assurer de la fiabilité et la précision des données.

De plus, une surcote de 0,20 m est rajoutée à tous les cas pour prendre en compte l'élévation immédiate du niveau moyen de la mer liée au changement climatique.

Pour l'horizon 2100, une marge de 0,60 m est ajoutée dans le cas de la prise en compte du changement climatique à long terme. Cette marge de 0,60 m a été déterminée sur la base du scénario pessimiste de l'ONERC (cf. Circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPRLI).

Ainsi, les niveaux d'eaux modélisés dans les calculs prennent en compte les incertitudes ainsi que la prise en compte du changement climatique.

Les cycles de marée obtenus pour différents évènements centennaux en situation actuelle et à 100 ans pour 2 cycles de marée.

¹ Source : Statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France – Edition 2012 (Source SHOM)

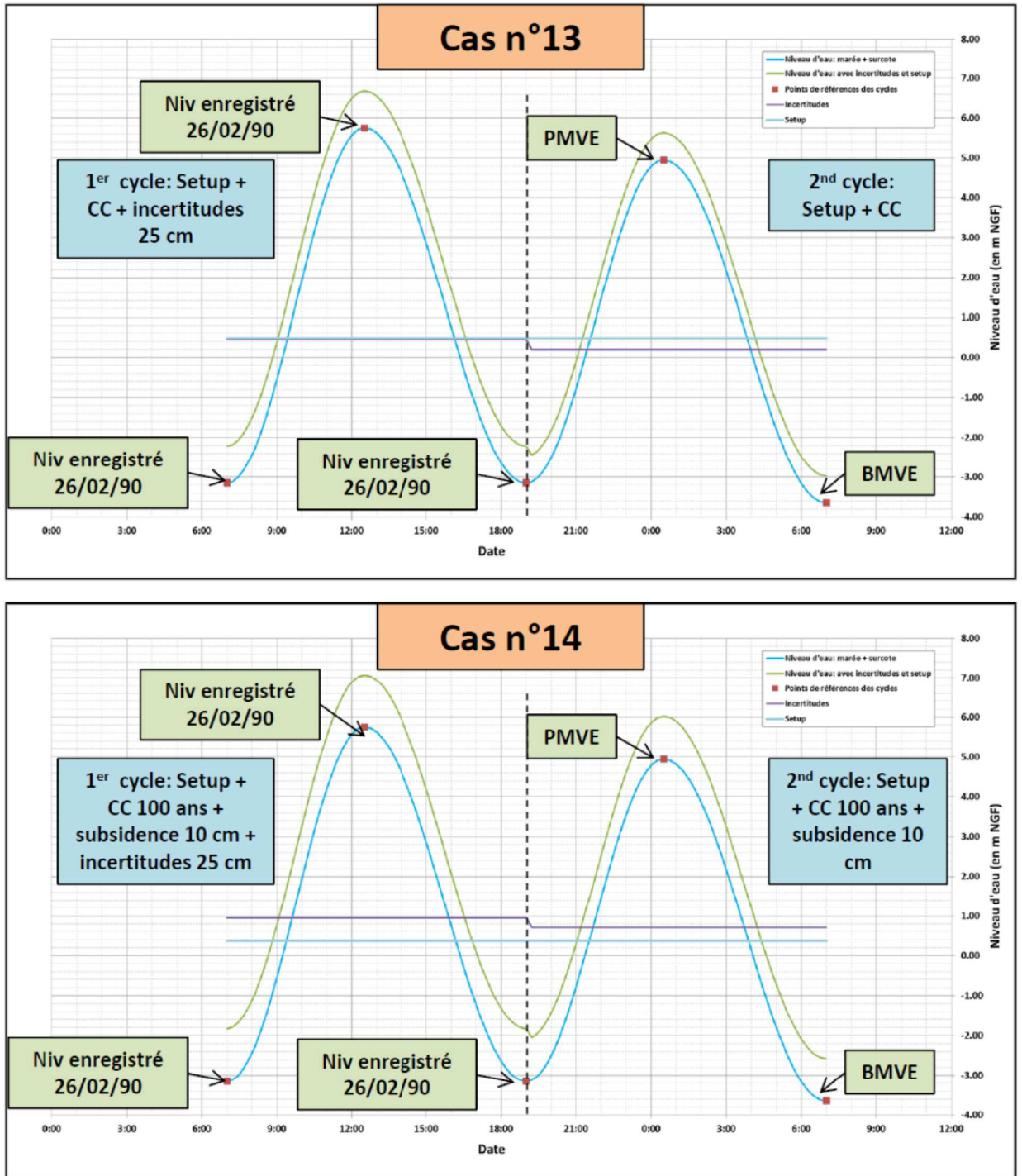


Figure 38 : Cycles de marées pour les événements de tempête de 1990 en situation actuelle (cas 13) et à 100 ans pour le (cas 14)

9.1.3 Etape 3 : Définition des volumes de franchissement de référence

9.1.3.1 Recherche de l'évènement de référence procurant les volumes de franchissements par paquets de mer les plus importants

Pour les deux profils de calculs (l'un sur la partie Est avec le mur de couronnement à +0,6 m et l'autre sur la partie Ouest avec le mur de couronnement à +1,0 m), les volumes de franchissements sont fournis sur le cycle de marée définit environ toutes les 20 min.

Le travail sur un cycle de marée permet de mieux quantifier les débits transmis en arrière des ouvrages au montant et au perdant.

Les calculs de franchissements sont basés sur les formules de l'EUROTOP Manuel pour les ouvrages. Pour des plages, on suivra les recommandations données dans le GUIDE PPRLI. Dans le cas de zones en eaux peu profondes, ce qui est le cas ici, les houles à une demi-longueur d'onde des ouvrages issues des modèles de propagation déferlent généralement avant d'arriver à l'ouvrage. Pour estimer plus précisément les débits de franchissements la houle est recalculée au pied de l'ouvrage suivant la méthode dite de GODA.

Pour connaître si l'évènement de référence du 26 février 1990 déterminé auparavant est celui générant le plus de franchissements, des calculs de franchissement ont été réalisés pour les évènements centennaux et l'évènement de tempête de référence.

Ces calculs ont également été réalisés pour deux configurations différentes de l'estran : une où le haut du cordon de galets atteint l'arase +6 m IGN et l'autre où il atteint +5 m IGN. Ces deux configurations permettent d'estimer les franchissements avec un profil usuel (+6 m IGN) et avec un profil démaigré avec moins de galets (+5 m IGN).

Les volumes franchis sont calculés selon les formules recommandées dans le guide méthodologique du PPRLI à partir des paramètres suivants :

- l'exposition aux houles (basé sur les résultats des modélisations maritimes),
- les caractéristiques des ouvrages tels que le type, l'état, l'altimétrie, la pente, etc.
- les caractéristiques des terrains en arrière tels que l'altimétrie

On appelle le Run-up, le phénomène qui génère les franchissements par paquets de mer.

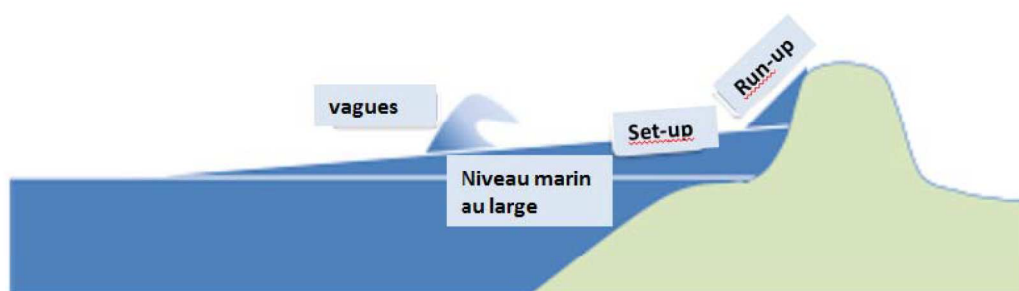


Figure 39 : principe du run-up

Les résultats des calculs de franchissements sont fournis ci-après. **Analyse avec le cordon de galets à +5 m IGN :**

On constate qu'avec un cordon de galets démaigré, les évènements qui procurent le plus de volume de franchissements sont le cas d'évènement statistique centennal n°12 (Hs=1,00 m, Tp=7 s, Niv = 6,68 m IGN) et l'évènement de tempête du 26 février 1990 (Hs=4,71 m, Tp=11,1 s, Niv = 6,20 m IGN). C'est 2 évènements génèrent des volumes de franchissement (525 000 m³) équivalents.

On constate qu'il y a un facteur de l'ordre de 7 pour les franchissements avec une configuration de plage avec (cordon de galets à + 6 m NGF) et sans galets (cordon de galets à + 5 m NGF).

9.1.3.2 Choix de l'évènement de référence pour chaque tronçon de littoral

Qu'est-ce qu'un évènement naturel de référence ?

L'évènement naturel retenu pour chaque tronçon doit répondre à 2 critères :

- **L'évènement naturel de référence doit être supérieur ou égale à l'évènement théorique de période de retour 100 ans.**
- Par exemple, il peut s'agir de l'évènement historique majeur de la tempête de 2008 s'il est supérieur à un évènement de période de retour 100 ans. Si aucun évènement historique n'est supérieur à l'évènement 100 ans, alors c'est l'évènement théorique de période de retour 100 ans qui est retenu.
- **L'évènement naturel retenu est l'évènement le plus pénalisant en termes de submersion, ce qui revient à dire le plus pénalisant en termes de volumes entrants.** Les volumes d'eau entrants à terre, sont liés aux trois modes de submersion :
 - le débordement ou la surverse,
 - le franchissement par paquets de mer
 - la rupture. La rupture peut être considérée comme un débordement particulier, pour lequel la cote du seuil varie dans le temps.

L'évènement peut-être pénalisant (impactant) :

- **car il génère le niveau marin le plus important à la côte. On parlera alors d'ERNM :** Evènement Référence générant le Niveau Marin le plus important
- **car il génère les volumes franchissants les plus importants : On parlera alors d'ERV :** Evènement Référence marin générant les Volumes franchissants les plus importants

En synthèse, l'évènement naturel de référence doit être au moins de période de retour supérieure ou égale à 100 ans et peut être soit l'ERV, soit l'ERNM.

9.1.3.3 Détermination de l'évènement de référence et du scénario

Comment définit-on un évènement naturel de référence ?

Le schéma page suivante illustre la méthode pour définir l'évènement qui doit être pris en compte.

D'après le guide PPRLI, les évènements de référence pour la détermination des niveaux d'eau ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux pour la détermination des volumes de franchissement.

Les calculs de franchissement ont été réalisés sur deux tronçons de la digue de Pourville (l'un sur la partie Est avec le mur de couronnement à +0,6 m et l'autre sur la partie Ouest avec le mur de couronnement à +1,0 m). L'évènement de référence générant les volumes de franchissements les plus importants a été recherché.

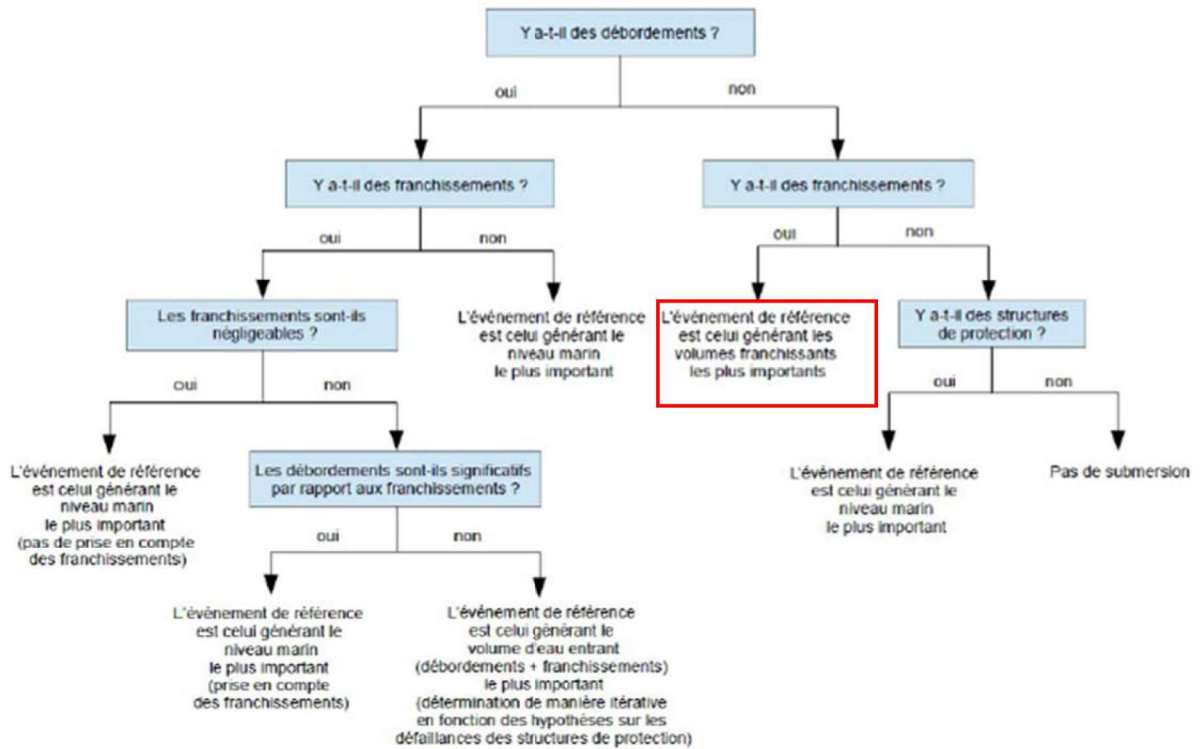


Figure 40 : Détermination de l'évènement de référence à considérer dans l'estimation des franchissements

9.1.4 Etape 4 : Phénomène de rupture de la digue de Pourville

9.1.4.1 Evénement de référence

Le cas 12 et l'évènement de tempête de 1990 sont très proches en volume de franchissement. Ils sont très proches en terme de niveau extrême. Ils seront donc tous les 2 simulés dans le cas d'une rupture. Les estimations de volumes entrant par la brèche s'effectuent pour 2 cycles de marée comme pour l'estimation des franchissements.

9.1.4.2 Hypothèses prises en compte

Une première réunion le 29 janvier 2014 en présence du Département de Seine-Maritime (gestionnaire de la digue de Pourville), de la DREAL HN, de la DDTM 76 et d'Egis a permis :

- D'écarter l'hypothèse de la prise en compte de la transparence totale (ruine totale) de l'ouvrage. En effet, la digue semble suffisamment robuste pour disparaître totalement suite à une tempête exceptionnelle.

- De préciser que la gestionnaire de la digue (Département 76) ne disposait pas d'éléments techniques de la digue.

Ainsi, en suivant le guide PPRLI (version mai 2014) et la figure ci-dessous, on se retrouve dans **la situation où une brèche de 100 m de large est retenue.**

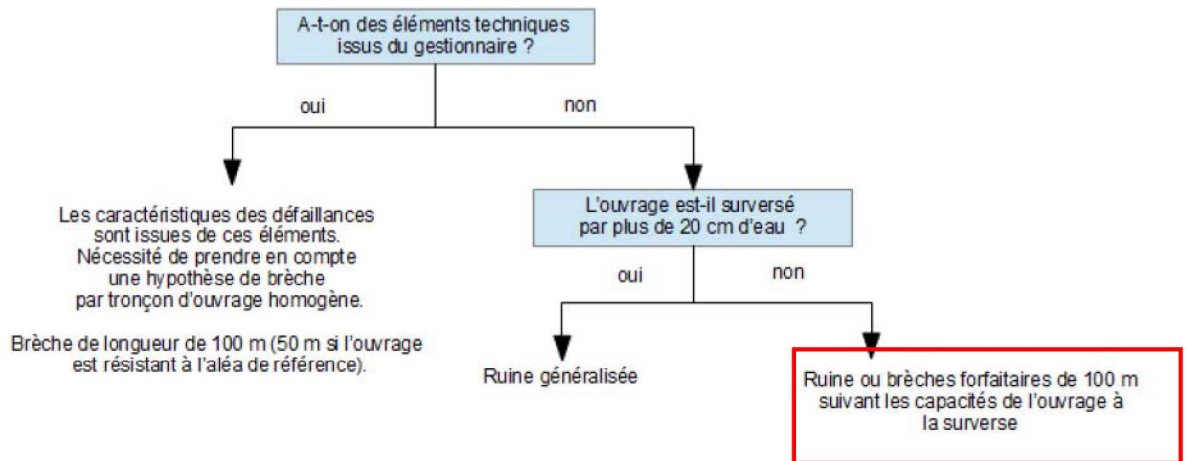


Figure 41 : Démarche simplifiée de prise en compte de la digue de Pourville (guide PPRLI, mai 2014)

Une seconde réunion (20 mars 2014) entre la DDTM 76, le CEREMA et Egis a permis de définir les caractéristiques de la brèche. Les caractéristiques suivantes ont été arrêtées :

- La crête de la digue est à 7.5 m NGF ;
- La rupture fait 100 m de large et centrée sur l'exutoire (prendre le centre du canal) cf. figure ci-dessous à titre d'exemple ;



Figure 42 : Localisation de la brèche

- La rupture à lieu 1 heure avant la pleine mer ;
- La durée de rupture est de 1 minute sur 100 m (forme rectangulaire) jusqu'à la cote de 4.5 m NGF ;
- La rupture sera modélisée sous forme d'une vanne/clapet rectangulaire de 100 m qui passe en 1 minute de la cote de 7.5 m à la cote de 4.5 m NGF.

9.1.4.3 Estimation des volumes entrants par la brèche et des hauteurs de submersion

L'événement le plus pénalisant fait entrer près de 2 000 000 m³, sur les 2 cycles de marée ce qui génère un niveau d'eau **derrière la digue de 6.68 m NGF**.

9.1.4.4 Caractérisation de l'aléa submersion marine à terre

L'objectif est de cartographier et de caractériser l'aléa de submersion marine à terre, à partir des scénarios retenus.

Les aléas submersion seront définis en fonction de 3 critères :

- les hauteurs d'eau maxima atteintes (m),
- les vitesses d'écoulement (m/s)
- la rapidité de submersion (m/min).

Ces caractéristiques doivent donc être quantifiées ou qualifiées sur chaque bassin de risque.

Quelle est la méthode pour caractériser l'aléa submersion et comment les choisi-t-on ?

Une modélisation 1D à casier (pseudo 2 D) nécessite :

- La définition des hydrogrammes entrants par rupture, franchissement ou surverse
- la loi hauteur/volume du casier à partir des données topographiques du LIDAR.

Pour réaliser les analyses mentionnées, des données topographiques précises sont nécessaires afin de disposer d'un modèle numérique de terrain adéquat. Dans le cadre de ce PPRLI, un levé LIDAR est disponible et assure une précision topographique à +/- 15 cm près avec +/- 10 cm sur voirie ou terrain nu.

9.1.5 Etape 5 : Quantification de la submersion marine

9.1.5.1 Hypothèses prises en compte

La topographie de la digue est considérée homogène (digue linéaire d'altitude constante). Les volumes franchis estimés à 525 000 m³ sont conséquents et représente 25 % des volumes entrants par la brèche estimés à près de 2 030 000 m³. Dans ce cas précis, le guide PPRLI (version de mai 2014) recommande que **la caractérisation de l'aléa submersion marine prennent en compte à la fois les volumes entrants par la brèche et par franchissements par paquets de mer.**

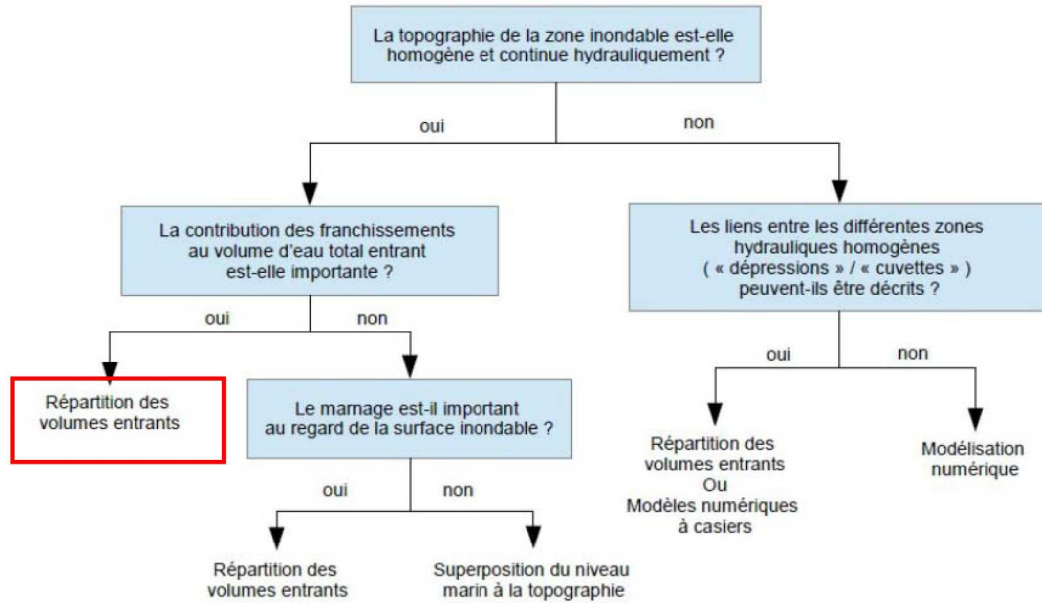


Figure 43 : Démarche simplifiée de choix de la méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine (guide PPRLI, mai 2014)

9.1.5.2 Estimation quantitative de la submersion marine

La hauteur d'eau maximale estimée derrière la digue pour l'événement marin le plus pénalisant est de 6.76 m NGF et 7.6 à l'horizon 2100. La submersion se propage jusqu'en amont de la voie SNCF située sur la commune d'Hautot-sur-Mer.

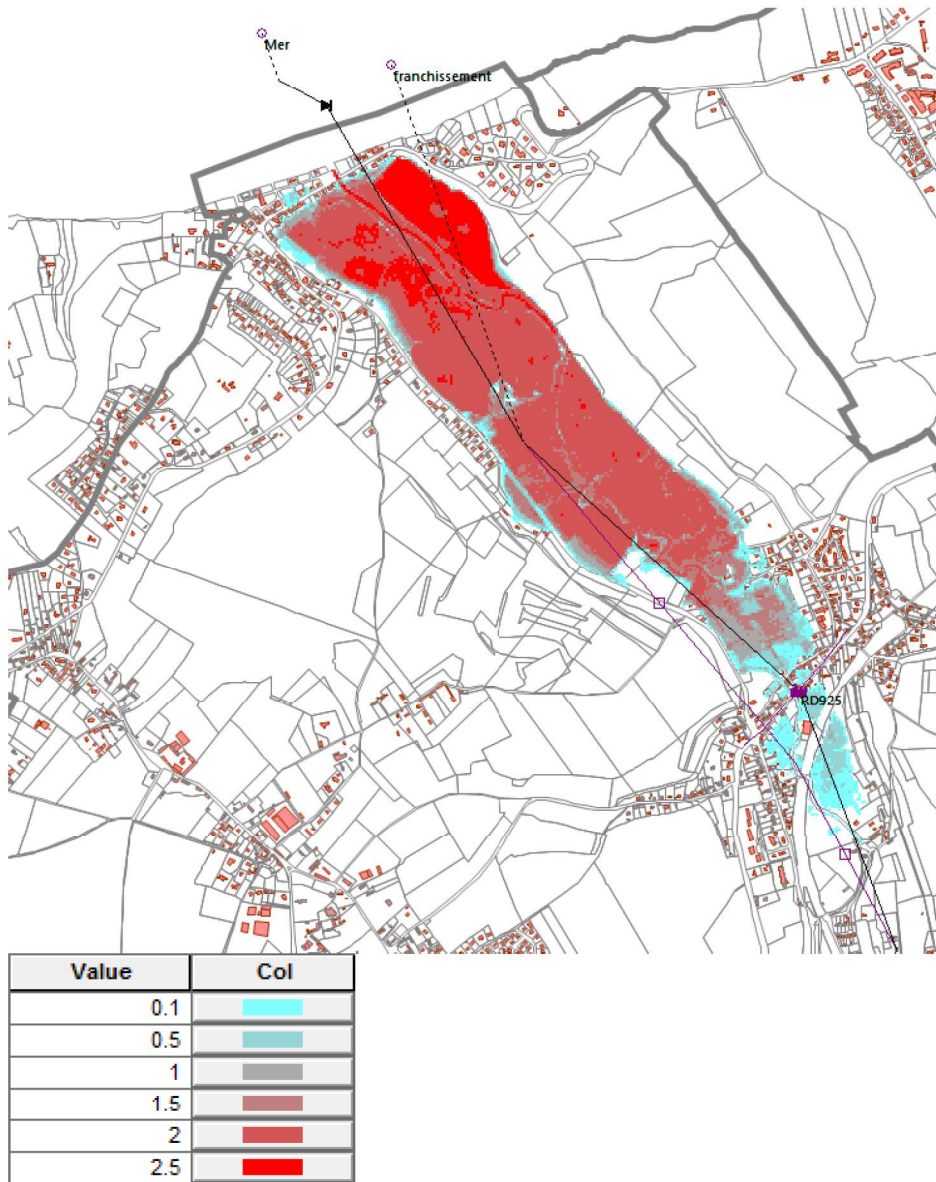


Figure 44 : Hauteur d'eau maximale pour un aléa submersion marine centennale en état actuel dans le cas d'une brèche de 100 m de large et des franchissements par paquets de mer

9.2 La cartographie de la crue morphogène par stéréoscopie

L'objectif est de déterminer sur le cours d'eau et sur quelques talwegs principaux, l'enveloppe de la « zone inondable » appelée aussi enveloppe de la « crue morphogène ».

Le terme « crue morphogène » représente l'ensemble des crues les plus importantes depuis la dernière ère glaciaire qui ont façonné la plaine inondable du cours d'eau et marqué le relief.

Ces crues peuvent avoir des périodes de retour bien supérieures à 100 ans.

Cette enveloppe de crue présentée dans la cartographie informative des phénomènes naturels permet l'amélioration de la connaissance des événements « rares » (

La « zone inondable » appelée aussi « plaine alluviale fonctionnelle » du cours d'eau est délimitée par l'« encaissant » qui représente les terrains situés hors d'eau. Ces deux grands sous-ensembles sont constitués chacun de plusieurs unités hydrogéomorphologiques décrites au § suivant.

La méthode a pour objectif la détermination de ces unités à partir de l'interprétation, à l'aide d'outils et de critères d'identification.

Ces critères d'identification sont le relief, la topographie, la morphologie, le type de sédiment, le type de végétation et les données relatives aux crues historiques souvent corrélées avec l'occupation du sol.

Les outils utilisés pour l'analyse des critères d'identification sont décrits au § suivant : lecture du relief à partir de photographies aériennes en 3 dimensions, visites de terrain...

Cette méthode est un outil efficace pour identifier les secteurs à enjeux. Les seules études hydrauliques, qui prennent en compte la plus forte crue connue ou la crue centennale (issue de calculs statistiques ou basés sur les caractéristiques des bassins versants), ne sont plus suffisantes face à l'augmentation des crues dites « rares ».

Elle permet, d'obtenir une cartographie homogène sur l'ensemble du linéaire. La dynamique des cours d'eau et leur évolution représentent un élément supplémentaire de compréhension de ces vallées, ce qui complète l'absence, sur certains secteurs, d'appareils de mesure ou d'insuffisance de données statistiques.

La méthode ne permet pas de quantification en termes de hauteur et de vitesse des événements cartographiés sur l'ensemble de la plaine alluviale. Les éléments permettant la quantification des hauteurs d'eau sont les données historiques et les suivis réalisés à l'aide des appareils de mesures recensés dans le cadre de cette étude.

Les effets des travaux anthropiques qui peuvent avoir des incidences directes sur le fonctionnement des cours d'eau (ponts, remblais, voies ferrées....) ne sont pas pris en compte par cette méthodologie. Cependant, même si leur incidence sur le tracé de la zone inondable n'est pas représentée, les facteurs anthropiques déterminants influençant les comportements des crues sont identifiés et localisés sur les cartes.

9.2.1 Description des unités hydrogéomorphologiques

La méthode utilisée passe par la détermination d'unités hydrogéomorphologiques.

Les unités hydrogéomorphologiques sont divisées en deux grands sous-ensembles :

- Les unités situées en zone inondable. Elles constituent la plaine alluviale fonctionnelle.
- Les unités situées en dehors de la zone inondable. Elles constituent l'encaissant.

L'objectif de la méthode hydrogéomorphologique est de déterminer les limites externes de la plaine alluviale.

La plaine alluviale fonctionnelle définit la zone inondable de la « crue morphogène » d'un cours d'eau. Elle est composée :

- d'un lit mineur qui correspond au lit intra-berges,
- d'un lit moyen qui accueille les crues fréquentes. Dans le cas des cours d'eau étudiés, le lit moyen n'a, en général, pas été cartographié. En effet, les cours d'eau étudiés observent une vallée encaissée à fond plat qui ne permet pas de déterminer cette unité selon sa définition géomorphologique.
- d'un lit majeur qui est fonctionnel pour toutes les crues de fréquentes à exceptionnelles. Il est emboîté dans des terrains formant l'encaissant.

Au-delà de la plaine alluviale on trouve l'encaissant qui définit la zone non-inondable de la « crue morphogène » d'un cours d'eau. Il est composé :

- du versant,
- des colluvions (dépôt de bas de pente provenant de l'érosion du versant)
- des terrasses alluviales (replat situé sur un versant à une altitude supérieure à celle du cours d'eau et qui représente le reste d'un lit ancien dans lequel le cours d'eau s'est enfoncé).

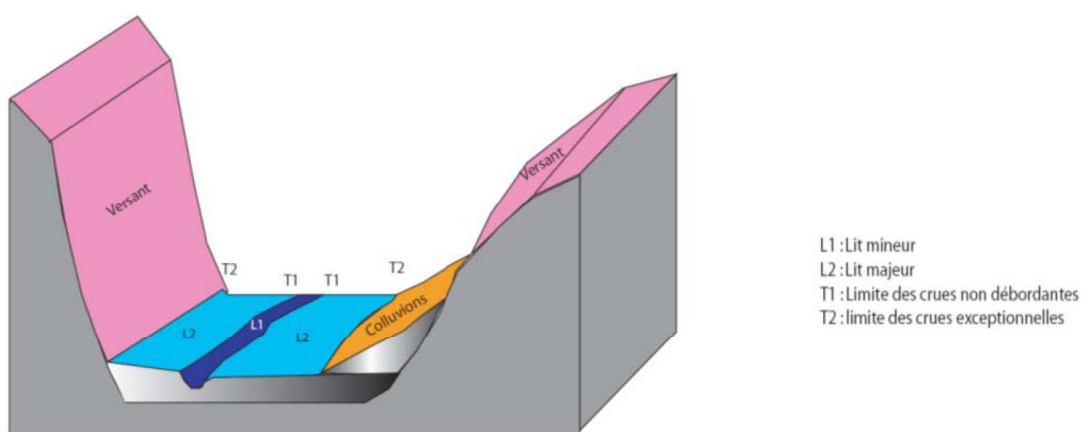


Figure 45 : Présentation schématique de la plaine alluviale

La méthode hydrogéomorphologique repose sur la délimitation de ces différentes unités à partir de l'interprétation, à l'aide d'outils, de critères d'identification qui sont : le relief, la topographie, la morphologie, le type de sédiment, le type de végétation, les données relatives aux crues historiques, souvent corrélées avec l'occupation du sol. Quelques exemples sont présentés ci-dessous :

Le relief et la topographie : La plaine inondable présente un relief relativement plat alors que le versant présente souvent des pentes marquées. Ainsi, un des critères d'identification de la délimitation de la plaine alluviale est la rupture de pente située au pied du versant.

Le type de sédiment : Le lit mineur présente des vitesses importantes qui lui permettent le transport de sédiments grossiers polis. Le lit majeur présente des vitesses moins marquées et donc le transport de sédiments plus fins polis par les eaux. Au contraire, le pied des versants va être marqué par la présence de colluvions (sédiments plus grossiers et tranchants provenant de l'érosion du versant). Ainsi l'analyse du type de sédiment va être un indicateur pour la délimitation des unités.

Le type de végétation et l'occupation du sol : Le type de végétation présent est représentatif (car dépendant) de la nature des sols et de leurs caractéristiques hydrologiques. De même le type d'occupation du sol a souvent été adapté à la connaissance des inondations (construction des anciens bâtiments hors d'eau, présence de cultures ou de prairies selon l'inondabilité des sols...).



Autant d'indicateurs qu'une fois recoupés aux témoignages recueillis sur les crues historiques vont permettre la délimitation des différentes unités.

Les unités constituant la vallée sont ensuite transposées sur la carte.

Le contour du lit majeur a été représenté sur la cartographie, ainsi que les secteurs surélevés situés dans la crue morphogène.

9.2.2 Les outils utilisés

Les outils utilisés pour la détermination des unités sont les suivants :

- La photo-interprétation
- Les observations de terrain
- Les données collectées (historiques, ...)
- La numérisation

9.2.2.1 La photo-interprétation

La première étape consiste en un travail de photo-interprétation stéréoscopique (lecture en 3 Dimensions de photographies aériennes) qui constitue la première phase d'expertise. La photo-interprétation permet d'avoir une vision d'ensemble du secteur étudié, ce qui est souvent nécessaire pour comprendre son fonctionnement.

9.2.2.2 Les observations de terrain

La seconde étape permet de valider la cartographie tout en y apportant des points de détail, pas forcément observables durant la première phase. Les visites de terrain permettent outre la validation de la carte, d'observer l'ensemble des éléments marqueurs laissés par une crue de la rivière, notamment :

- La nature des formations superficielles des différents lits,
- La végétation, dépendante de la nature des sols et de leurs caractéristiques hydrologiques,
- Les traces d'inondation : laisses de crue, érosions, sédimentation dans le lit majeur,

La complémentarité de ces deux méthodes permet également d'apporter des informations sur l'extension urbaine récente ainsi que sur le développement des activités humaines sur la totalité du linéaire. Ces deux approches complémentaires sont indissociables l'une de l'autre.

9.2.2.3 Les données collectées (historiques, ...)

Dans le cadre d'une étude générale telle que celle traitée ici, il est primordial de collecter, d'analyser et de présenter clairement et précisément l'ensemble des informations disponibles relatif au fonctionnement de ces cours d'eau.

Cette collecte d'informations s'effectue auprès des administrations locales (DREAL, DDTM, Communes, services des archives départementales, ...).

Afin de compléter ce travail de recherche, un questionnaire a été distribué aux mairies concernées par cette étude. Cela permet d'obtenir des renseignements locaux qui viennent compléter les premières investigations. Le traitement de ces données nous renseigne plus précisément sur les événements majeurs qui se sont produits dans les communes ainsi que les actions qui sont en cours pour la gestion des abords des rivières.

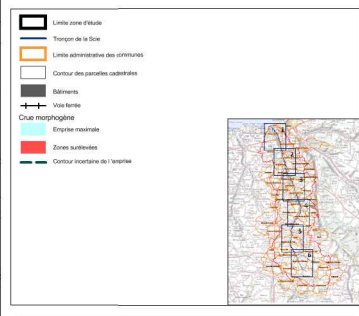
9.2.2.4 Le traitement informatique

Ces outils permettent l'identification de l'emprise de la crue morphogène du secteur d'étude.

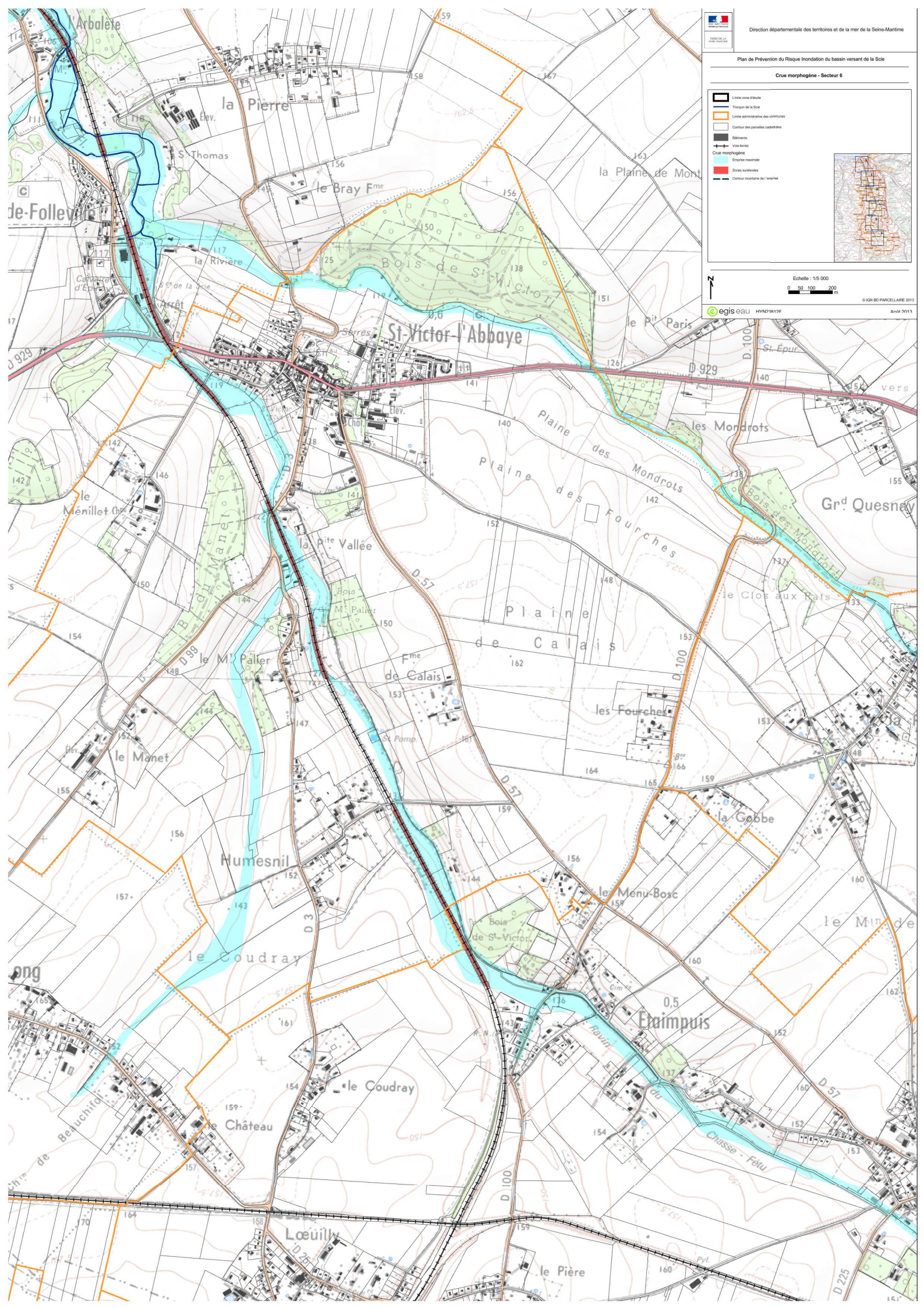


Plan de Prévention du Risque Inondation du bassin versant de la Scie

Crue morphogène - Secteur 6



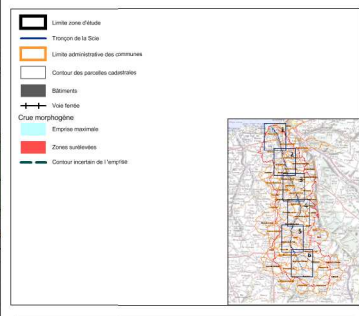
Echelle : 1/5 000
 0 50 100 200 m
 © IGN BD PARCELLAIRE 2013
 Avril 2011





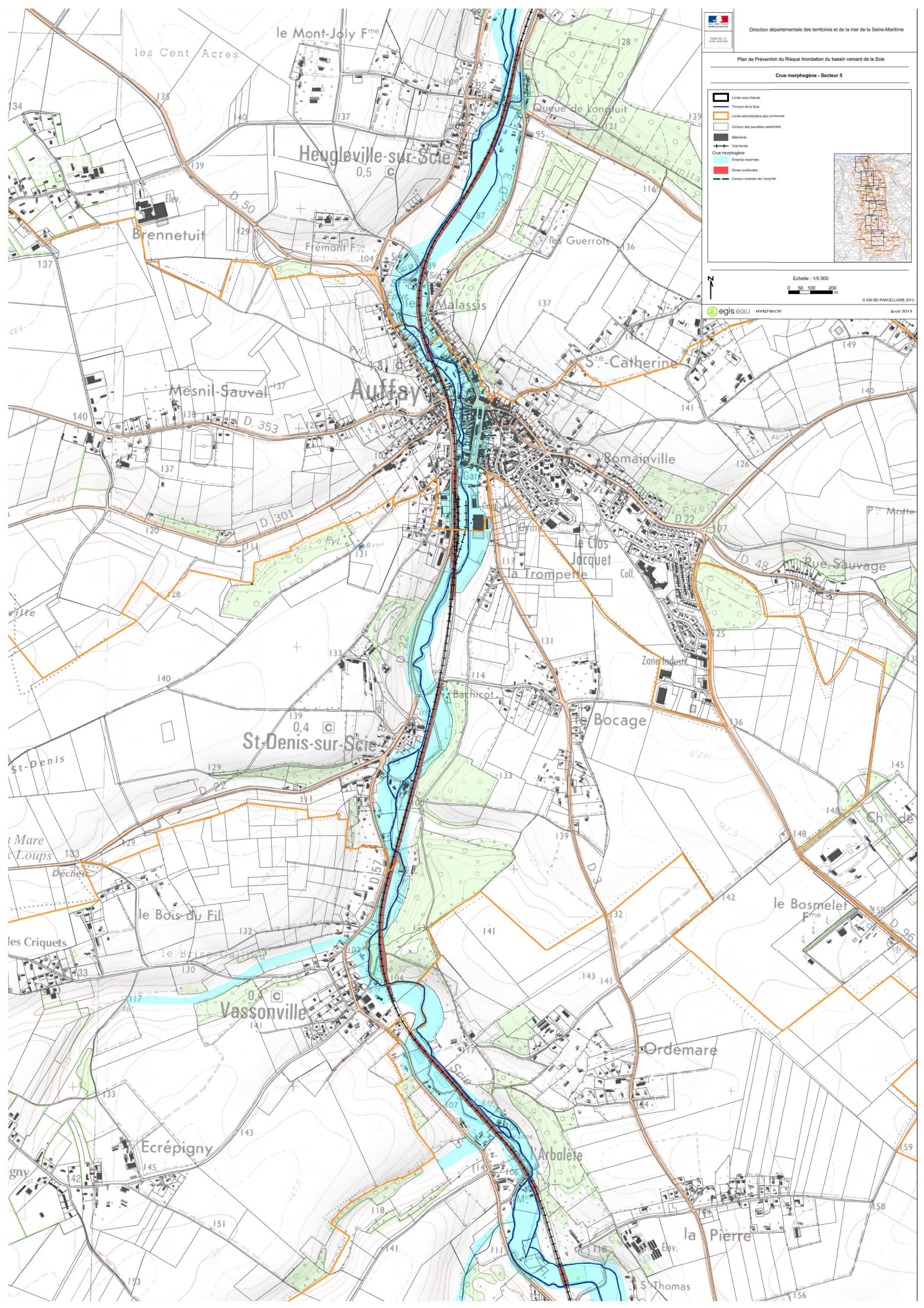
Plan de Prévention du Risque Inondation du bassin versant de la Seine

Crue morphogène - Secteur 5



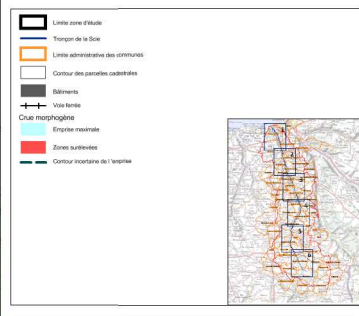
Echelle : 1/5 000
 0 50 100 200 m

egis eau HYN21812F Avril 2011 © IGN BD PARCELLAIRE 2013

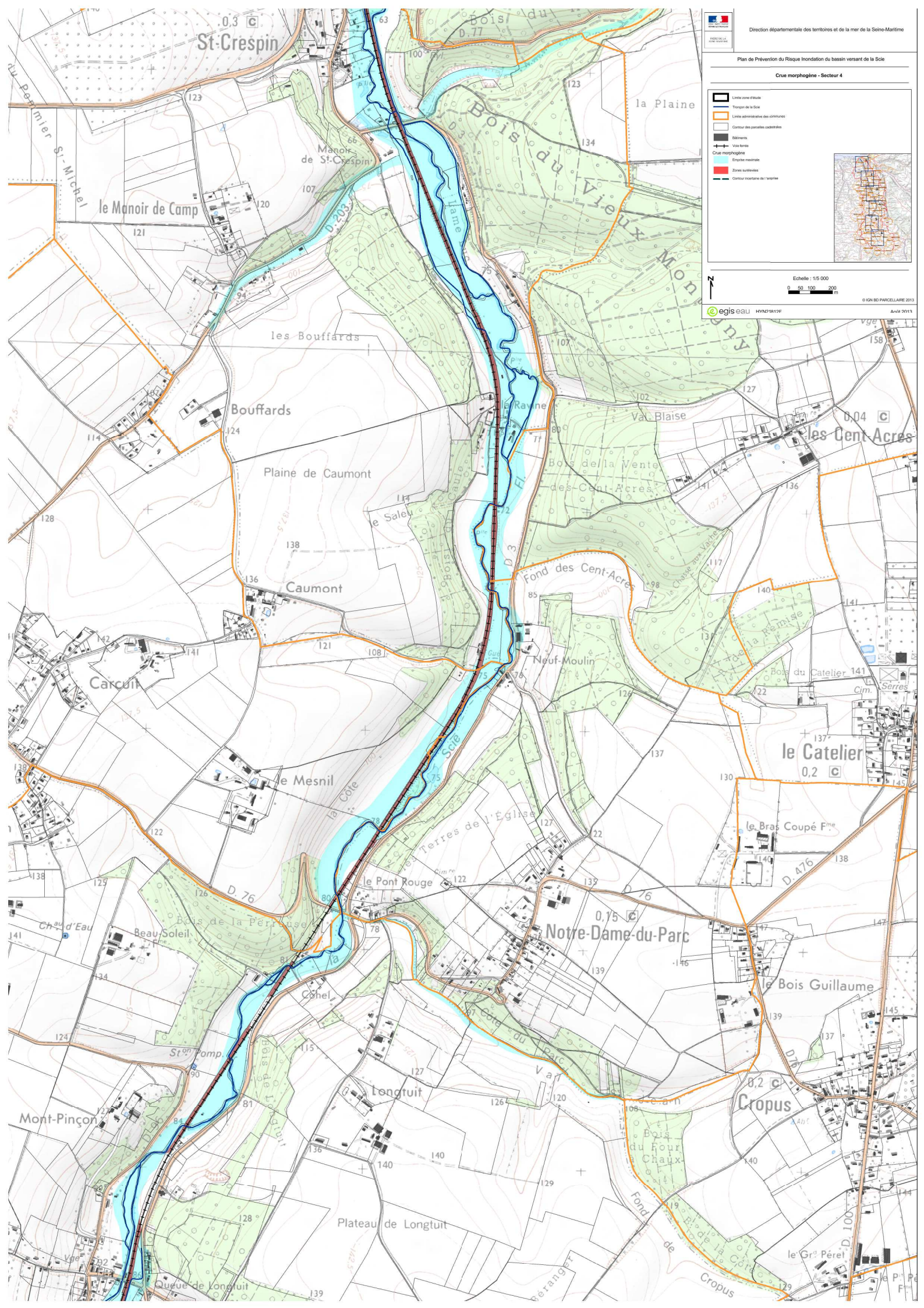


Plan de Prévention du Risque Inondation du bassin versant de la Sclie

Crue morphogène - Secteur 4



Echelle : 1:15 000
0 50 100 200 m
© IGN, BD PARCELLAIRE 2013
Avril 2011
egis eau HYN21812F





Plan de Prévention du Risque Inondation du bassin versant de la Scie

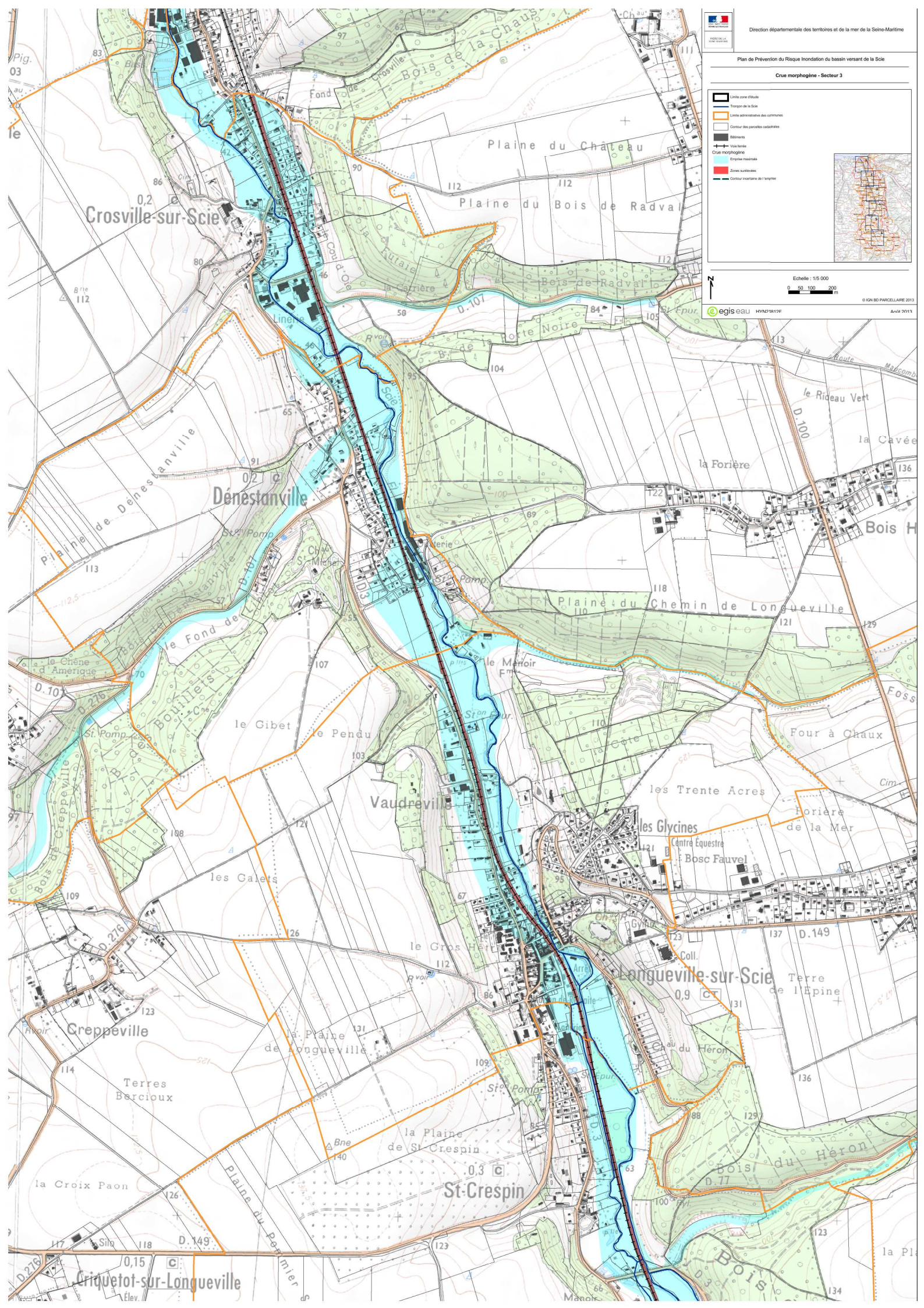
Crue morphogène - Secteur 3

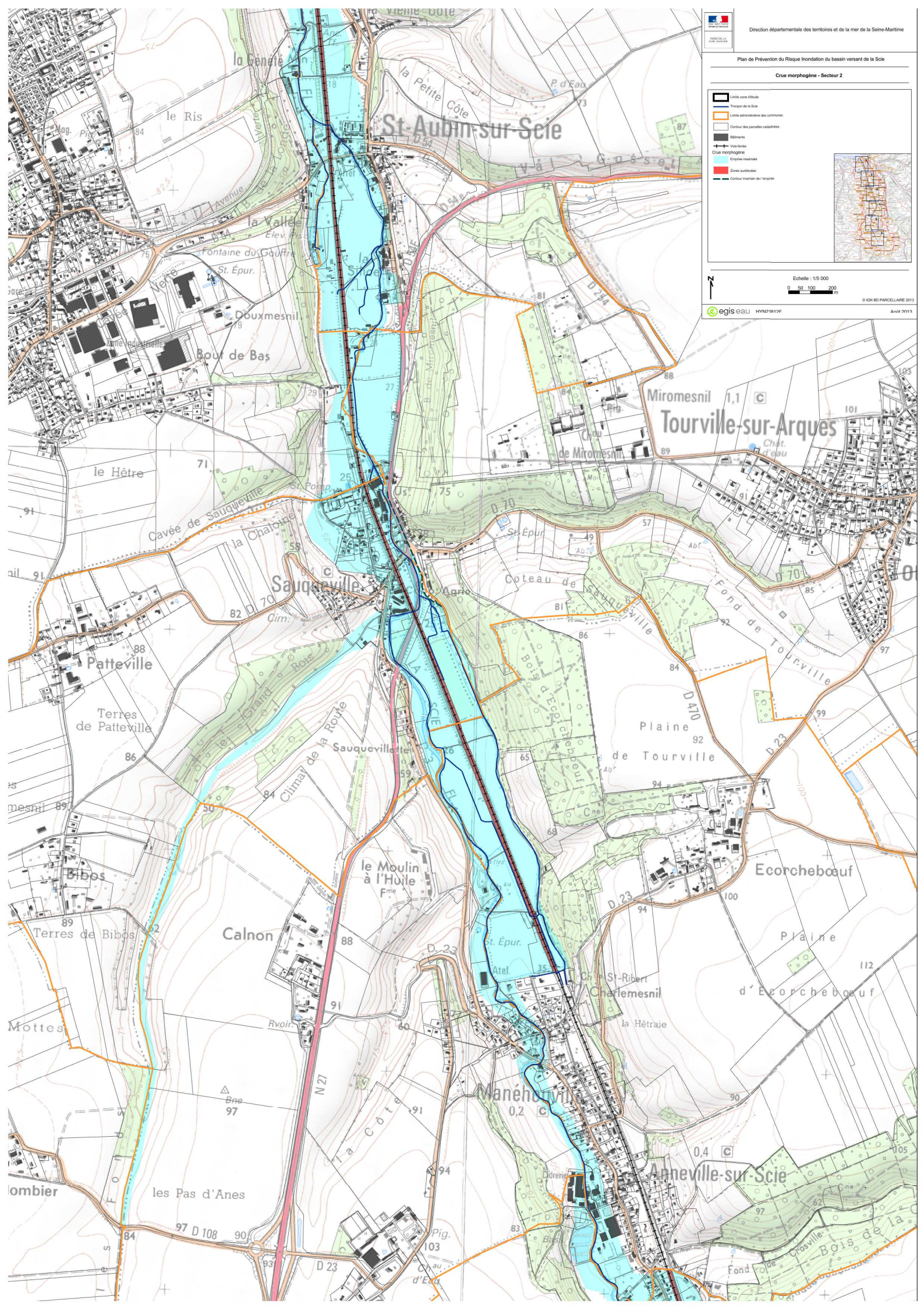
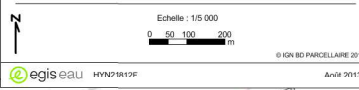


Echelle : 1/15 000
0 50 100 200 m

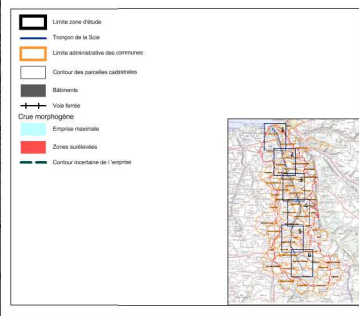
egis eau HYN21812F

© IGN BD PARCELLAIRE 2013
Avril 2013





Plan de Prévention du Risque Inondation du bassin versant de la Seine
Crue morphogène - Secteur 1



Echelle : 1/15 000
0 50 100 200 m

egis eau HYN21812F © IGN BD PARCELLAIRE 2013 Avril 2013

