



**PRÉFET
DU CALVADOS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction Départementale
des territoires et de la mer**

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES LITTORAUX DU BESSIN

**Communes d'Arromanches-les-Bains, Asnelles, Bernières-sur-Mer,
Courseulles-sur-Mer, Graye-sur-Mer, Meuvaines, Saint-Côme-de-Fresné,
Tracy-sur-Mer et Ver-sur-Mer.**



Note de présentation

Vu et annexé à l'arrêté préfectoral d'approbation du **10 août 2021**

SOMMAIRE

I. PRÉAMBULE.....	11
I.1. Modalités de lecture du document.....	11
I.2. Les fondements de la politique de l'État en matière de risques naturels majeurs....	12
I.2.1. Définition du risque.....	12
I.2.2. Les textes fondateurs.....	12
I.3. Les plans de prévention des risques naturels prévisibles.....	13
I.4. La responsabilité des acteurs en matière de prévention.....	15
I.4.1. La responsabilité de l'État.....	16
I.4.2. La responsabilité des Collectivités.....	16
I.4.3. La responsabilité du citoyen.....	17
I.4.4. La nature de la responsabilité.....	17
II. MOTIVATION ET ÉLABORATION DU PPRL.....	18
II.1. Pourquoi un PPRL sur le Bessin ?.....	18
II.2. Périmètre d'étude du PPRL.....	20
II.3. Prescription du PPRN.....	20
II.4. Élaboration du PPRL.....	21
II.5. Concertation.....	24
II.5.1. Le cadre réglementaire.....	24
II.5.2. Rôle essentiel de la concertation.....	24
II.5.3. Bilan de la concertation.....	24
II.6. Contenu du PPRL.....	24
II.7. Valeur juridique du PPRN.....	25
III. LE CONTEXTE TERRITORIAL.....	27
III.1. Évolution du territoire.....	27
III.2. La population et l'habitat.....	27
IV. LES PHÉNOMÈNES NATURELS ET ALÉAS.....	29
IV.1. Concepts utilisés.....	29
IV.1.1. Notion de période de retour.....	30
IV.1.2. Notion d'aléa.....	31
IV.1.3. Phénomène et scénario de référence.....	31
IV.2. Les phénomènes historiques.....	32
IV.3. La submersion marine.....	37
IV.3.1. Caractérisation de la submersion marine.....	38

IV.3.1.1. Le niveau marin et les marées.....	39
IV.3.1.2. Les vents.....	42
<i>a. Les vents régionaux.....</i>	42
<i>b. Vents locaux.....</i>	43
<i>c. Les vents au large.....</i>	44
IV.3.2. Aléas de submersion marine.....	44
IV.3.2.1. Bathymétrie et topographie.....	45
IV.3.2.2. Niveau marin de référence.....	45
IV.3.2.3. Dimension temporelle de l'analyse.....	47
IV.3.2.4. Les cours d'eau côtiers.....	47
IV.3.2.5. Prise en compte des ouvrages de protection et de leur défaillance.....	48
<i>a. Définition des ouvrages de protection.....</i>	48
<i>b. Méthodologie.....</i>	48
<i>c. Effacement des ouvrages.....</i>	48
<i>d. Prise en compte de la formation de brèches.....</i>	48
<i>e. Défaillance des ouvrages hydrauliques annexes.....</i>	50
<i>f. Bandes de précaution.....</i>	51
IV.3.2.6. Zones exposées aux chocs mécaniques.....	54
IV.3.2.7. Qualification de l'aléa de submersion marine.....	57
<i>a. L'aléa pour le scénario de référence.....</i>	58
<i>b. L'aléa pour le scénario à échéance 100 ans.....</i>	59
IV.4. L'érosion côtière.....	60
IV.4.1. La migration dunaire et l'érosion des côtes sableuses.....	60
IV.4.1.1. Contexte morphologique.....	60
IV.4.1.2. Caractérisation de l'aléa de migration dunaire.....	61
IV.4.1.3. L'érosion moyenne à long terme.....	61
IV.4.1.4. L'érosion ponctuelle.....	64
IV.4.1.5. Qualification de l'aléa d'érosion pour les côtes sableuses.....	66
IV.4.2. L'érosion des falaises.....	67
IV.4.2.1. Contexte géographique et géologique.....	68
IV.4.2.2. Évolution des falaises et mouvements de terrain.....	69
<i>a. Recul diffus généralisé.....</i>	69
<i>b. Recul ponctuel.....</i>	72
<i>c. Mouvements de grande ampleur.....</i>	73
IV.4.2.3. Qualification de l'aléa induit par le recul des falaises.....	74
V. LES ENJEUX.....	75
V.1. Définition.....	75
V.2. Les enjeux dans le PPRL.....	75
V.2.1. Typologie des enjeux.....	76
V.2.2. Prise en compte des personnes.....	76
V.2.3. Prise en compte des projets.....	76
V.2.4. Cartographie des enjeux.....	77

V.3. La vulnérabilité dans le PPRL.....	79
V.3.1. Typologie pour l'analyse de la vulnérabilité.....	79
V.3.2. Cartographie de la vulnérabilité.....	80
VI. ÉLABORATION DU ZONAGE RÉGLEMENTAIRE.....	83
VI.1. Principes généraux du zonage réglementaire.....	83
VI.2. Adaptations ponctuelles.....	84
VI.3. Principes du règlement des différentes zones du PPRL.....	85
VII. BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES.....	86
VIII. ANNEXES.....	87

Figures

La relation aléa, enjeu et risque.....	12
Localisation des communes concernées par le PPRL du Bessin.....	20
Synoptique de la procédure d'élaboration des PPRL.....	23
Populations communales en 2015 (source : Insee).....	28
Nombre d'évènements tempétueux répertoriés par décennie pour la zone comprise entre la Dives et le Bessin.....	34
Conséquences de la tempête Xynthia à Bernières-sur-Mer (source : mairie).....	37
Zones hydrodynamiques (Cartier, 2013).....	39
Carte des niveaux extrêmes de pleine mer en Baie de Seine pour une période de retour de 100 ans (source : SHOM/CETMEF, 2012).....	40
Niveaux de référence +20 cm d'élévation par section homogène, secteur Bessin (conditions d'Ouest et du N-NE, valeurs supérieures et inférieures, surcote de houle exclue).....	42
Comparaison de roses de vent sur le territoire de la Basse-Normandie (IFREMER & Météo France 2013).....	43
Niveau marin pour le scénario de référence (trois cycles de marée).....	47
Définition des hypothèses de brèches pour les digues.....	49
Définition de l'aléa de submersion marine.....	57
Exemple de restitution de l'analyse diachronique 1947 – 2009. (trait de côte 1947 en orange, trait de côte 2009 en rouge).....	62
Exemple d'analyse de l'évolution du trait de côte à partir des résultats de la modélisation. Comparaison des traits de côte actuel (trait noir) et à échéance 10 ans (pointillé rouge) et 50 ans (trait bleu).....	64
Principe d'estimation du recul moyen par section homogène.....	65
Extrait de la carte géologique de la zone de falaise (source BRGM).....	68
Vue aérienne de la falaise (secteur Arromanches-les-Bains/Saint Côme de Fresné) montrant de nombreux indices de glissements dans la partie aval.....	69
Localisation de la tête de falaise d'après les orthophotoplans 2009 (rose) et 1966 (jaune). Zone Ouest en haut et Est en bas.....	71
Position probable du trait de côte à échéance de 100 ans (tirets orange). Zone Ouest.....	72
Position probable du trait de côte à échéance de 100 ans (tirets orange). Zone Est.....	72
Extrait de la carte des enjeux d'Arromanches-les-Bains.....	78

Tableaux

Évolution de la population des communes étudiées.....	27
Période de retour et probabilité d'occurrence.....	30
Caractéristiques des scénarios de référence.....	32
Évènements tempétueux recensés du début du XIXe au début du XXe siècle.....	34
Principales tempêtes répertoriées (1962 – 2018).....	35
Arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT).....	36
Niveaux de marée astronomique le long des côtes du Calvados.....	40
Niveaux marins extrêmes dans la zone étudiée.....	41
Niveaux marins du scénario de référence.....	45
Niveaux marins du scénario à échéance 100 ans.....	46
Hypothèses de modélisation des ouvrages hydrauliques annexes.....	50
Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario de référence.....	53
Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario à échéance 100 ans.....	54
Détermination de la largeur des bandes de chocs mécaniques.....	55
<i>Caractéristiques de la bande de chocs mécaniques pour le scénario de référence.....</i>	<i>55</i>
Définition de la bande de chocs mécaniques pour le scénario à échéance 100 ans.....	56
<i>Érosion moyenne à long terme des côtes basses et meubles.....</i>	<i>62</i>
Estimation du taux de recul annuel moyen par modélisation.....	63
Érosion ponctuelle et érosion moyenne pour l'événement de référence.....	65
Estimation du recul à échéance de 100 ans.....	67
Synthèse des taux annuels moyens de recul de la falaise.....	67
Détail de la typologie de l'occupation du sol pour la cartographie des enjeux.....	76

Détail de la typologie des sites vulnérables.....	79
Définition du zonage réglementaire en fonction de l'occupation du sol et de l'aléa.....	83
Définition du zonage réglementaire dans l'emprise des bandes de précaution et des bandes de chocs mécaniques.....	84
Définition du zonage réglementaire pour les zones exposées à l'aléa de recul du trait de côte.....	84

Glossaire

Aléa	L'aléa traduit la fréquence et l'intensité d'un phénomène naturel en un lieu donné. Il est fréquemment évalué qualitativement par des degrés (faible, moyen, fort, très fort).
Anticyclone	Zone de forte pression atmosphérique.
Bathymétrie	Mesure de la profondeur des mers et des océans et, par extension, de toutes les zones immergées. Ce terme est utilisé pour décrire la morphologie de ces zones.
Champ de houle	Répartition spatiale des houles (directions et intensité) dans une zone géographique donnée.
Champ de vents	Répartition spatiale des vents (directions et intensité) dans une zone géographique donnée.
Choc mécanique	Choc des vagues qui peut exercer des pressions importantes contre les structures sans donner lieu à une inondation significative.
Clapot	Agitation de la surface de la mer sous l'action du vent.
Concomitance	Simultanéité de deux phénomènes ou événements.
Dorsale	Zone anticyclonique (de forte pression atmosphérique) allongée, prolongeant un anticyclone.
Enjeu	Ensemble des personnes, des biens, des activités, du patrimoine présent en un lieu donné. Cette notion est utilisée pour l'évaluation du <i>risque</i> .
Géomorphologie	Méthode d'analyse des formes du relief et des données historique visant à délimiter les zones exposées aux inondations et à identifier les principaux domaines fonctionnels du cours d'eau.
Intertidal	Espace côtier compris entre les limites extrêmes atteintes par la <i>marée</i> .
Marée	Variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil, astres dont les mouvements peuvent être calculés avec précision sur des périodes de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'années.
Marnage	Différence entre les niveaux d'une <i>marée</i> haute et d'une <i>marée</i> basse successives. Le marnage est une hauteur habituellement exprimée en mètres.
Mitigation	Concept d'adaptation des <i>enjeux</i> situés dans une zone exposée à un phénomène naturel pour limiter leur vulnérabilité et faciliter le retour à la normale en cas de survenance du phénomène.
Pleine mer astronomique	Cote marine de pleine mer (<i>marée</i> haute) liée à l'action de l'attraction de la Lune et du Soleil.
Reprofilage	Modification de la section d'un cours d'eau pour améliorer les conditions d'écoulement et augmenter sa capacité.
Risque	Le risque traduit la conjonction, en un même lieu, d'un aléa et d'un <i>enjeu</i> . Le risque est proportionnel à l'aléa et à l'importance de l' <i>enjeu</i> concerné.
Ruine généralisée	Destruction (ruine) complète d'un ouvrage ou d'un ensemble d'ouvrages de protection.
Set-up de houle	Surélévation du niveau marin induite par la dissipation de l'énergie de la houle déferlant sur le rivage (wave set-up ou surcote de houle).
Surcote atmosphérique	Élévation du niveau marin liée à une faible pression atmosphérique.

Surverse	Déversement d'eau au-dessus de la berge ou d'un ouvrage.
<i>Système de protection</i>	Éléments naturels ou anthropiques qui protègent de la mer une zone située sous le niveau marin.
Vulnérabilité	Dans le contexte des Plans de Prévention des <i>Risques</i> Naturels prévisibles, la vulnérabilité correspond à la sensibilité d'un <i>enjeu</i> (construction, activité, etc.) à un phénomène donné.

Liste des sigles et abréviations

BCM	Bande de chocs mécaniques
BDP	Bande de précaution
CATNAT	Catastrophe naturelle
CGCT	Code général des collectivités territoriales
CREC	Centre de recherches en environnement côtier
DDRM	Dossier départemental des risques majeurs
DICRIM	Dossier d'information communal sur les risques majeurs
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
ERP	Établissement recevant du public
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IAL	Information des acquéreurs et locataires
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
INSEE	Institut national de la statistique économique
NGF	Nivellement général de la France
ORSEC	Organisation de la réponse de la Sécurité Civile
PAC	Porter à connaissance
PCS	Plan communal de sauvegarde
PLU	Plan local d'urbanisme
PPRL	Plan de prévention des risques naturels prévisibles littoraux
PPRN	Plan de prévention des risques naturels prévisibles
REX	Retour d'expérience
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la marine
SUP	Servitude d'utilité publique
TRI	Territoire à risque important d'inondation
ZNM	Zones situées sous le niveau marin

Plan de prévention des risques littoraux du Bessin

Submersion marine et érosion

Note de présentation

I. Préambule

I.1. Modalités de lecture du document

Les termes figurant en *italique* sont définis dans un glossaire présenté en page 8. Les sigles et abréviations utilisés sont récapitulés et explicités en page 10.

Les études techniques réalisées dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) ne sont pas citées ici dans leur intégralité. Seules les informations essentielles ont été reprises et, si nécessaires, retranscrites sous une forme non technique. Ces études sont disponibles dans leur intégralité auprès de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Calvados, service instructeur du PPR, des collectivités territoriales concernées et sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados (www.calvados.gouv.fr).

Lorsque d'autres études ou documents techniques ont été exploités et cités, des numéros entre crochets [x] renvoient aux références bibliographiques récapitulées en page 86.

1.2. Les fondements de la politique de l'État en matière de risques naturels majeurs

1.2.1. Définition du risque

Le *risque* est la rencontre d'un phénomène aléatoire (ou « *aléa* », en l'occurrence la submersion marine ou l'érosion côtière) et d'un *enjeu* (vies humaines, biens matériels, activités, patrimoines) exposé à ce phénomène naturel aléatoire.

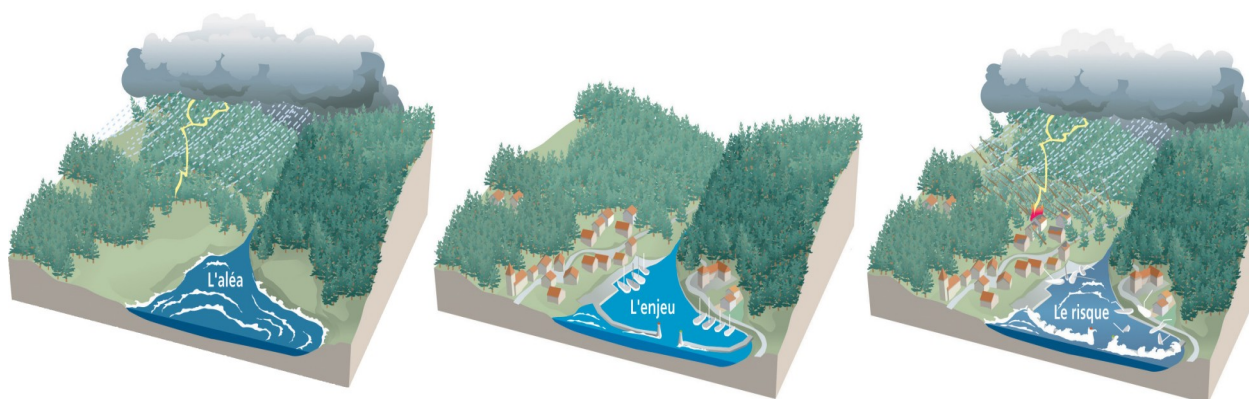


Figure 1: La relation aléa, enjeu et risque.

Un *risque* est considéré comme « *risque majeur* » lorsque sa fréquence est faible et que ses conséquences sont extrêmement graves, avec de nombreuses victimes et des dommages importants aux biens et à l'environnement.

1.2.2. Les textes fondateurs

Quatre lois ont organisé la sécurité civile et la prévention des *risques* majeurs :

- la loi du 13 juillet 1982 modifiée, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles ;
- la loi du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des *risques* majeurs ;
- la loi du 2 février 1995 dite « loi Barnier » relative au renforcement de la protection de l'environnement ;
- la loi du 30 juillet 2003, relative à la prévention des *risques* technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

La politique de l'État en matière de gestion des *risques* naturels majeurs a pour objectif d'assurer la sécurité des personnes et des biens dans les territoires exposés à ces *risques*. Elle repose sur quatre principes : la protection, la prévention, la gestion de crise et l'information préventive.

- La *protection* vise à limiter les conséquences du phénomène naturel sur les personnes et les biens. Il s'agit alors de travaux de réduction de la *vulnérabilité*. Cet aspect est limité par son coût et par l'étendue du territoire à traiter, et ne sera donc mis en place que pour des *enjeux* déjà exposés et réellement importants. Ces travaux n'annulent cependant pas le *risque* et ils ne doivent pas avoir pour conséquence d'inciter à urbaniser davantage les espaces ainsi protégés.
- La *prévention* vise à limiter les *enjeux* dans les zones soumises au phénomène naturel et à ne pas aggraver l'*aléa*. Elle repose sur la connaissance des phénomènes physiques et sur la prise en compte du *risque* dans l'aménagement du territoire, à travers l'élaboration de plans de prévention et la réalisation de travaux spécifiques. Il s'agit de prendre en compte le *risque* pour ne pas exposer de nouveaux biens et de ne pas aggraver les *risques*.
- La *gestion de crise* a pour objectif de rendre les secours, l'évacuation et la gestion des phénomènes aussi efficaces que possible dès lors que le phénomène se déclenche. Cela passe par la mise en place de procédures d'alerte pour réduire les conséquences de la catastrophe par des mesures temporaires (évacuation, mise en sécurité des biens, etc.), ainsi que par la préparation de la gestion de la catastrophe et l'organisation prévisionnelle des secours (plan ORSEC) (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile). Le retour d'expérience (REX) permet de tirer les enseignements des catastrophes et d'améliorer les procédures de gestion de crise.
- L'*information préventive* a pour objectif d'informer et de responsabiliser le citoyen. Chaque citoyen a droit à une information sur les *risques* auxquels il est exposé et sur les mesures de sauvegarde mises en œuvre ou susceptibles de l'être, par les différents acteurs, dont lui-même (articles L.125-2, L.125-5, L.563-3 et R.129-9 à R.126-27 du Code de l'Environnement). Cette information est donnée notamment au travers du dossier départemental des *risques* majeurs (DDRM) et du dossier d'information communal sur les *risques* majeurs (DICRIM).

En outre, l'article L.125-5 du code de l'environnement impose l'information de l'acheteur ou du locataire de tout bien immobilier (bâti et non bâti) situé dans un plan de prévention des *risques* prescrit ou approuvé. Cette information, dite information des acquéreurs et locataires (IAL), est faite par un état des *risques* naturels et technologiques, établi directement par le vendeur ou le bailleur à partir des informations mises à disposition par le Préfet du département.

1.3. Les plans de prévention des risques naturels prévisibles

Le plan de prévention des *risques* naturels (PPRN) est un document qui régit l'aménagement du territoire et les activités dans des espaces soumis à un *risque* naturel. Le PPRL est un PPRN relatif aux *risques* littoraux (submersion marine et évolution du trait de côte).

La loi du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des *risques* majeurs définit les plans de prévention des *risques* naturels prévisibles. Cette définition figure dans l'article 40-1, repris dans l'article 16-1 de la loi du 2 février 1995 et codifiés à l'article L 562-1 du Code de l'Environnement.

Art. L 562-1

« I. L'État élabore et met en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones :

II. Ces plans ont pour objet, en tant que de besoin :

1. De délimiter les zones exposées aux risques, en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle, notamment afin de ne pas aggraver le risque pour les vies humaines ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles, pourraient y être autorisés, prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités.

2. De délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions telles que prévues au 1°.

3. De définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers.

4. De définir, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du plan qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.

III.-La réalisation des mesures prévues aux 3° et 4° du II peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence. A défaut de mise en conformité dans le délai prescrit, le préfet peut, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.

IV.-Les mesures de prévention prévues aux 3° et 4° du II, concernant les terrains boisés, lorsqu'elles imposent des règles de gestion et d'exploitation forestière ou la réalisation de travaux de prévention concernant les espaces boisés mis à la charge des propriétaires et exploitants forestiers, publics ou privés, sont prises conformément aux dispositions du titre II du livre III et du livre IV du code forestier.

V.-Les travaux de prévention imposés en application du 4° du II à des biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du code de l'urbanisme avant l'approbation du plan et mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs ne peuvent porter que sur des aménagements limités.

VI. — Les plans de prévention des risques d'inondation sont compatibles ou rendus compatibles avec les dispositions du plan de gestion des risques d'inondation défini à l'article L. 566-7.

VII. — Des décrets en Conseil d'Etat définissent en tant que de besoin les modalités de qualification des aléas et des risques, les règles générales d'interdiction, de limitation et d'encadrement des constructions, de prescription de travaux de réduction de la vulnérabilité, ainsi que d'information des populations, dans les zones exposées aux risques définies par les plans de prévention des risques naturels prévisibles.

Les projets de décret sont soumis pour avis au conseil d'orientation pour la prévention des risques naturels majeurs.

Le PPRN est donc l'un des outils de la gestion des *risques*, qui vise à la fois l'information et la prévention. Ces principaux objectifs peuvent être récapitulés en quatre points principaux :

- identifier les zones de *risque* et le niveau de danger ;
- ne pas aggraver le phénomène ;
- ne plus y exposer de nouveaux biens ;
- rendre moins vulnérables les biens qui y sont déjà exposés.

Suite à la tempête Xynthia, survenue en 2010, et à ses conséquences dramatiques sur le littoral atlantique, la circulaire du 27 juillet 2011 est venue compléter et préciser les règles applicables en matière de prise en compte du *risque* de submersion marine dans les PPRN relatifs aux *risques* littoraux. Parmi les apports majeurs de cette circulaire, on peut noter :

- la prise en compte des ouvrages de protection dans la dynamique de submersion ;
- la prise en compte des conséquences prévisibles à court et moyen termes du changement climatique mais également en anticipant ses conséquences à échéance 100 ans.

D'un point de vue juridique, le PPRN (et donc les PPRL) est une servitude d'utilité publique (SUP) annexée au plan local d'urbanisme (PLU). Il s'ajoute aux réglementations existantes et s'impose au règlement du PLU. Il ne peut pas constituer une justification à une non application d'une autre réglementation.

1.4. La responsabilité des acteurs en matière de prévention

Dans l'application de la politique de gestion des *risques* naturels majeurs, dont les grands principes ont été précédemment rappelés, il convient de distinguer trois niveaux de responsabilité des principaux acteurs concernés, sachant que certaines de ces responsabilités peuvent être partagées :

I.4.1. La responsabilité de l'État

La loi du 30 juillet 2003 dans son article codifié à l'article L.564-1 du Code de l'Environnement stipule que « l'organisation de la surveillance de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues est assurée par l'État ».

Un des premiers rôles de l'État (Préfet) est donc celui de l'information des élus et des citoyens notamment via le DDRM, la liste des arrêtés portant constatation de l'état de catastrophe naturelle, etc, mais également dans le cadre du Porter à Connaissance (PAC) des documents d'urbanisme.

Cette information nécessite néanmoins une connaissance préalable du *risque* au travers d'analyses des phénomènes, des qualifications d'*aléas* (Atlas des zones Inondables, etc.). Ces données sont traduites dans un document réglementaire ayant valeur de servitude d'utilité publique : c'est le PPRN qui relève de la compétence de l'État et qui constitue la cheville ouvrière du dispositif de prévention.

L'État, en liaison avec les autres acteurs, assure par ailleurs la surveillance des phénomènes, l'alerte et l'organisation des plans de secours, lorsque le problème concerne plusieurs communes ou que l'événement entraîne le déclenchement d'un plan départemental de secours ou le plan ORSEC départemental.

Exceptionnellement, le recours aux procédures d'expropriation peut être nécessaire si le déplacement des populations dont la vie serait menacée par un péril imminent d'une particulière gravité se révèle être la seule solution à un coût acceptable.

I.4.2. La responsabilité des Collectivités

Comme l'État, les maires ou responsables de structures intercommunales ont un devoir d'information de leurs administrés à qui ils doivent faire connaître les *risques*, notamment grâce au DICRIM.

La loi du 30 juillet 2003 a renforcé le dispositif antérieur en précisant que « dans les communes sur le territoire desquelles a été prescrit ou approuvé un plan de prévention des *risques* naturels prévisibles, le maire informe la population au moins une fois tous les 2 ans, par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié, sur les caractéristiques du ou des *risques* naturels connus dans la commune, les mesures de prévention et de sauvegarde possibles, les dispositions du plan, les modalités d'alerte, l'organisation des secours, les mesures prises par la commune pour gérer le *risque* ainsi que sur les garanties prévues de l'article L.125.1 du code des assurances ».

De plus, la loi relative à la modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 rend obligatoire l'élaboration d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS) dans les communes dotées d'un PPRN approuvé. Ce PCS regroupe l'ensemble des documents de compétence communale contribuant à la gestion de crise et à la protection des populations.

La maîtrise de l'occupation du sol et sa mise en cohérence avec les *risques* identifiés, à travers l'élaboration des PLU, font également partie de ce rôle de prévention. En outre, dans l'exercice de ses compétences en matière d'urbanisme, si celles-ci lui ont été

transférées (PLU approuvés), le maire conserve la possibilité de recourir à l'article R.111-2 du code de l'urbanisme relatif à la sécurité publique. Cet article dispose que « le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance, ou de son implantation à proximité d'autres installations ».

Les collectivités locales et territoriales peuvent aussi réaliser des travaux de protection des lieux habités et réduire ainsi la *vulnérabilité*, s'ils présentent un caractère d'intérêt général.

C'est le maire qui en premier lieu est le responsable de la gestion de crise (organisation et direction des secours) sur sa commune. Il tient le Préfet informé de son action. Si le phénomène dépasse le cadre communal, ou si les moyens de la commune ne suffisent pas, le Préfet prend la main. Il peut se substituer en cas de carence du maire.

Il est opportun de rappeler qu'en vertu du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT), le maire peut avoir l'obligation de prendre les mesures nécessaires afin de prévenir les atteintes à la sécurité publique résultant de *risques* naturels, dans l'exercice de ses pouvoirs ordinaires de police. L'État peut se substituer à lui en cas de carence.

1.4.3. La responsabilité du citoyen

Le citoyen qui a connaissance d'un *risque* a le devoir d'en informer le maire. Il a aussi le devoir de ne pas s'exposer sciemment à des *risques* naturels, en vérifiant notamment que les conditions de sécurité au regard de ces *risques* soient bien remplies, comme l'y incite le Code Civil.

C'est au propriétaire d'un terrain concerné par un *risque* que peut revenir la responsabilité des travaux de protection contre les *risques* des lieux habités.

Le citoyen propriétaire ou bailleur de biens immobiliers situés dans un PPR a le devoir d'informer l'acheteur ou le locataire de l'existence des *risques* naturels et/ou technologiques auxquels ses biens sont exposés (IAL).

1.4.4. La nature de la responsabilité

Il convient de rappeler que la responsabilité des acteurs s'exerce dans les trois grands domaines du droit que sont :

- la responsabilité administrative ;
- la responsabilité civile ;
- la responsabilité pénale.

II. Motivation et élaboration du PPRL

II.1. Pourquoi un PPRL sur le Bessin ?

La tempête Xynthia du 28 février 2010 a durablement frappé la côte Atlantique. Elle a également, à une échelle bien moindre, occasionné de multiples dommages dans le Calvados, principalement sur la façade littorale du Bessin.

Suite à cet évènement, le Gouvernement a adopté plusieurs mesures visant à une meilleure prévention des *risques* littoraux et notamment, de répondre à l'urgence d'augmenter la sécurité des populations dans les zones inondables. L'État a mis en place, pour 6 ans, le Plan national Submersions Rapides (PSR), composé d'un ensemble d'actions opérationnelles pour la maîtrise de l'urbanisation et l'adaptation du bâti existant, l'amélioration de la connaissance des aléas et des systèmes de surveillance, de prévision, de vigilance et d'alerte.

Ces évènements de 2010, ont plus largement participé à orienter les évolutions de la gestion de la prévention des inondations à l'échelle nationale, tel que précisé en annexe 1.

La circulaire interministérielle du 7 avril 2010, a prescrit, de *couvrir par un PPRN approuvé l'ensemble des zones basses exposées à un risque fort de submersion marine sous 3 ans*. Les communes pour lesquelles le déploiement des PPRL a été jugé prioritaire ont été précisées dans l'instruction du 2 août 2011, relative à la mise en œuvre des PPRL qui a identifié les 303 communes, dont 15 dans le calvados. Cette liste a été établie au regard du *risque* constaté pour les vies humaines au moment de son élaboration, ou qui pourrait s'y accroître significativement du fait d'une urbanisation non maîtrisée.

Elle tient notamment compte de la cartographie des zones sous le niveau marin (ZNM) établie en 2011 par la DREAL de Basse-Normandie et intègre les secteurs submergés en février 2010. Cette cartographie met en évidence les terrains situés sous un niveau marin de référence et l'ensemble des territoires situés derrière des éléments jouant un rôle de protection contre les submersions ou érosions marines. Cet atlas constitue la première étape dans la connaissance de l'aléa puisqu'il permet une description statique du risque de submersion a contrario d'un PPRL qui repose sur des modélisations.

Dans les secteurs qui bénéficient d'un plan de prévention des risques littoraux, les aléas modélisés se substituent à l'atlas ZNM.

Sur la base de cette liste, deux PPR littoraux prioritaires ont été prescrits fin 2011 dans le Calvados :

- le PPRL du « Bessin » : d'Arromanches-les-Bains à Bernières-sur-Mer (9 communes) ;
- le PPRL « Dives-Orne » de Hermanville-sur-Mer à Dives-sur-Mer (8 communes).

Les communes d'Arromanches-les-Bains, Asnelles, Bernières-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer, Graye-sur-Mer, Meuvaines, Saint-Côme-de-Fresné, Tracy-sur-Mer et Ver-sur-Mer sont exposées à des phénomènes de submersion marine ou de recul du trait de cote.

Le recul du trait de cote peut également induire un *risque* majeur lorsque des *enjeux* (constructions, infrastructures, etc.) sont exposés.

II.2. Périmètre d'étude du PPRL

Le plan de prévention des *risques* littoraux du Bessin est établi sur l'ensemble du territoire des communes d'Arromanches-les-Bains, Asnelles, Bernières-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer, Graye-sur-Mer, Meuvaines, Saint-Côme-de-Fresné, Tracy-sur-Mer et Ver-sur-Mer.

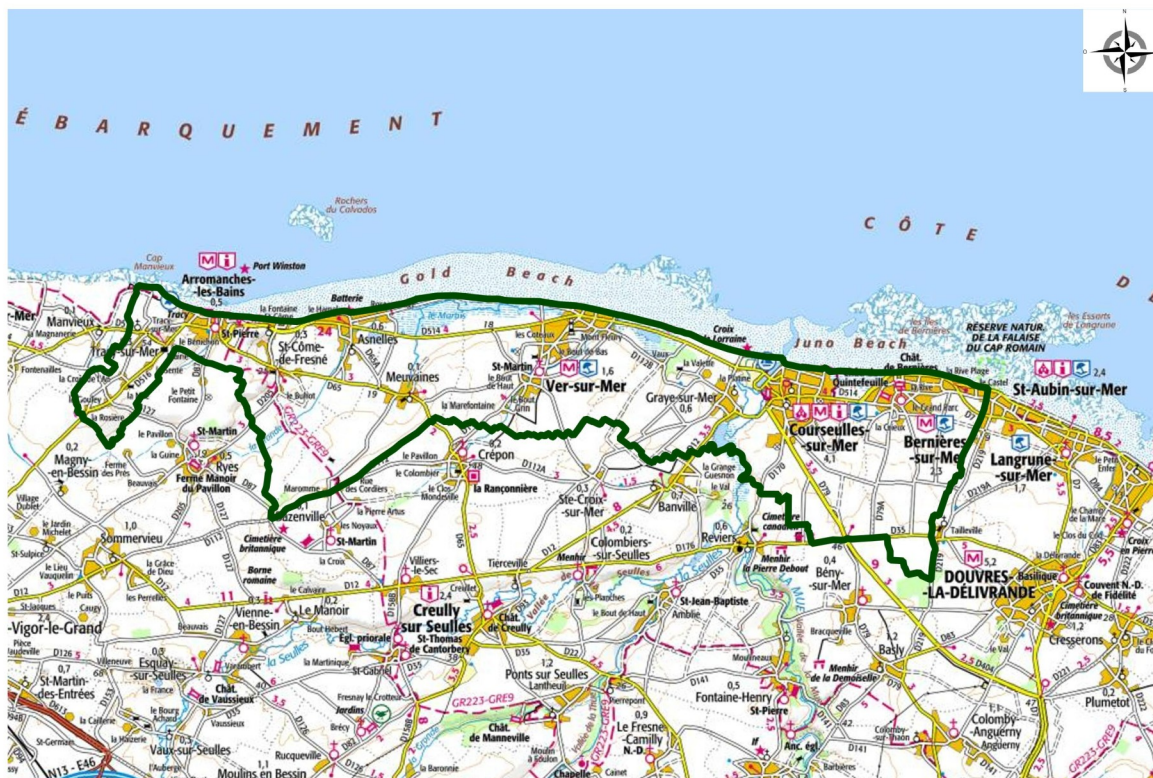


Figure 2 Localisation des communes concernées par le PPRL du Bessin.

II.3. Prescription du PPRN

Les articles R.562-1 et R.562-2 du code de l'environnement définissent les modalités de prescription des PPRN.

Article R.562-2

L'arrêté prescrivant l'établissement d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles détermine le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte. Il désigne le service déconcentré de l'État qui sera en charge d'instruire le projet. Cet arrêté définit également les modalités de la concertation et de l'association des

collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale concernés, relatives à l'élaboration du projet.

Il est notifié aux maires des communes ainsi qu'aux présidents des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est inclus, en tout ou partie, dans le périmètre du projet de plan.

Il est, en outre, affiché pendant un mois dans les mairies de ces communes et aux sièges de ces établissements publics et publié au recueil des actes administratifs de l'État dans le département. Mention de cet affichage est insérée dans un journal diffusé dans le département.

Le plan de prévention des risques naturels prévisibles doit être approuvé dans les trois ans qui suivent l'intervention de l'arrêté prescrivant son élaboration.

Ce délai est prorogeable une fois, dans la limite de dix-huit mois, par arrêté motivé du préfet si les circonstances l'exigent, notamment pour prendre en compte la complexité du plan ou l'ampleur et la durée des consultations.

Nota :

Conformément à l'article du décret n° 2011-765 du 28 juin 2011, ces dispositions sont applicables aux plans de prévention des risques naturels prévisibles dont l'établissement est prescrit par un arrêté pris postérieurement au dernier jour du premier mois suivant la publication du présent décret.

Le PPRL du Bessin a été prescrit par arrêté préfectoral du 4 avril 2016. L'arrêté préfectoral du 1^{er} avril 2019 a prorogé de 18 mois la période d'élaboration du PPRL.

L'article 3 de cet arrêté précise que le PPRL du Bessin porte sur les *risques* naturels de submersion marine, d'érosion et de migration dunaire.

II.4. Élaboration du PPRL

Le décret du 5 octobre 1995 a défini la procédure d'élaboration des PPRN :

- prescription de l'établissement d'un PPRN ou de sa révision par un arrêté préfectoral qui détermine le périmètre mis à l'étude et désigne le service déconcentré de l'État chargé d'élaborer le projet ;
- établissement du projet par les services de l'État ;
- consultation de la chambre d'agriculture et du centre régional de la propriété forestière ;
- consultation des conseils municipaux ;

- enquête publique ;
- approbation par arrêté préfectoral qui érige le PPRN en servitude d'utilité publique ;
- annexion du PPRN au POS, au PLU ou tout autre document d'urbanisme.

Le PPRN approuvé vaut SUP au titre de l'article 40-4 de la loi du 22 juillet 1987. Il doit donc être annexé au PLU en application des articles L.126-1 et R.123-24-4 du Code de l'Urbanisme, par l'autorité responsable de la réalisation du PLU (maire ou président de l'établissement public compétent).

À défaut, l'article L.126-1 du code de l'urbanisme, tel qu'il a été modifié par l'article 88 de la loi du 2 février 1995, fait obligation au préfet de mettre en demeure cette autorité d'annexer le PPRN au PLU et, si cette injonction n'est pas suivie d'effet, de procéder d'office à l'annexion.

Il est souhaitable que les dispositions du PLU soient mises en conformité avec le PPRN lorsque ces documents divergent pour rendre cohérentes les règles d'occupation du sol.

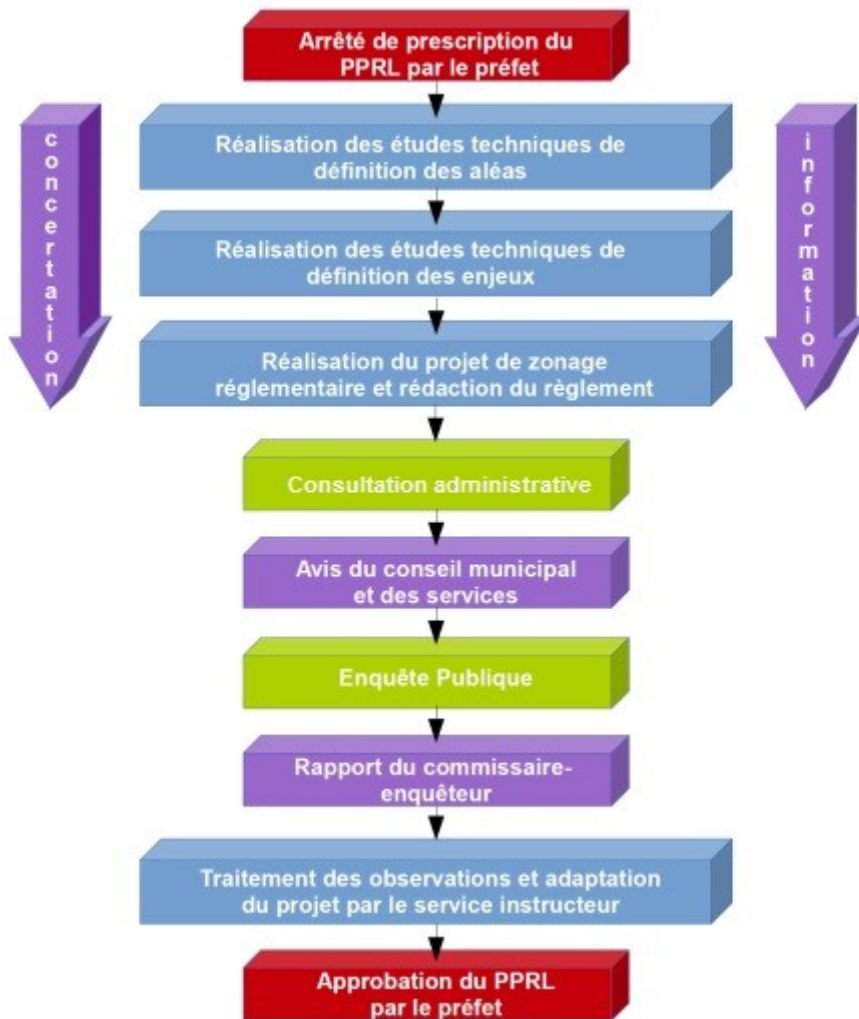


Figure 3 Synoptique de la procédure d'élaboration des PPRL.

Le décret n°2012-616 du 2 mai 2012, relatif à l'évaluation de certains plans et programmes ayant une incidence sur l'environnement, soumet à la procédure d'examen au cas par cas et la nécessité de réaliser une évaluation environnementale des PPR naturels. Par décision du 27 mai 2019, l'autorité environnementale a décidé de ne pas soumettre l'élaboration du PPRL du Bessin à une évaluation environnementale.

II.5. Concertation

II.5.1. Le cadre réglementaire

La concertation dans l'élaboration des PPRN prévisibles est une obligation réglementaire instituée par le décret n° 2005-3 du 4 janvier 2005 qui a modifié le décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 relatif aux PPRN.

Son article 2 prévoit que l'arrêté prescrivant l'établissement d'un PPRN définit les modalités de la concertation relative à l'élaboration du projet.

La circulaire du 3 juillet 2007 relative à la consultation des acteurs, la concertation avec la population et l'association des collectivités territoriales dans les PPRN prévisibles prévoit l'élaboration d'un bilan de la concertation.

Enfin, l'article R123-8-5 du Code de l'environnement précise que le dossier soumis à l'enquête publique comprend notamment le bilan de la concertation.

II.5.2. Rôle essentiel de la concertation

Au-delà des aspects réglementaires, la concertation est un élément essentiel de l'élaboration des PPRN.

Durant l'élaboration du PPRL du Bessin, la concertation a été organisée autour de nombreuses réunions de travail entre le service instructeur et les représentants des collectivités territoriales concernées (communes et EPCI). Ces réunions se sont échelonnées tout au long des phases techniques, de l'analyse des phénomènes à l'élaboration du zonage réglementaire et du règlement. Des échanges nombreux ont notamment été nécessaires pour établir la cartographie des *enjeux*.

Des réunions du comité de pilotage ont permis d'échanger sur les cartographies des *aléas*, des *enjeux* ainsi que sur le règlement.

II.5.3. Bilan de la concertation

Conformément à la réglementation en vigueur, le bilan de la concertation sera intégré au dossier du PPRL du Bessin.

II.6. Contenu du PPRL

Le contenu du PPRN est précisé par le décret du 5 octobre 1995. Le dossier du PPRN doit comprendre :

- une note de présentation qui motive l'élaboration du PPRN ;

- un document graphique délimitant les zones exposées aux *risques* en distinguant plusieurs niveaux d'*aléa* et identifiant les zones déjà urbanisées faisant l'objet de dispositions particulières ;
- un règlement qui définit :
 - les conditions dans lesquelles des aménagements ou des constructions peuvent être réalisés dans la zone exposée ;
 - les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à prendre par les collectivités et les particuliers ainsi que les mesures relatives à l'aménagement, à l'utilisation ou à l'exploitation des constructions, des ouvrages et des espaces mis en culture ou plantés.

Le PPRN comprend d'autres documents, qui ont pour vocation d'informer et de sensibiliser les acteurs locaux et la population. Ils ne sont pas directement opposables pour la gestion des actes d'urbanisme. Il s'agit :

- de la cartographie de l'*aléa* de submersion marine ;
- de la cartographie de l'*aléa* de recul du trait de côte ;
- de la cartographie des cotes de référence ;
- de la cartographie des *enjeux* ;
- du bilan de la concertation.

Il peut comprendre enfin d'autres documents en annexe (textes de loi, décrets, circulaires, cartes explicatives, bibliographie, etc.).

II.7. Valeur juridique du PPRN

Conformément à l'article L.562-4 du Code de l'Environnement, le PPRN prévisibles approuvé vaut servitude d'utilité publique. Il est annexé au PLU (article L.153-60 du Code de l'urbanisme).

L'arrêté préfectoral approuvant le PPRN prévisibles fait l'objet d'un affichage en mairie et d'une publicité par voie de presse locale en vue d'informer les populations concernées.

Cette annexion revêt une importance toute particulière, dans la mesure où les articles L152-7 et L162-1 du code de l'urbanisme prévoient que dans le délai d'un an à compter de leur institution, seules les servitudes annexées au PLU et à la carte communale pourront être opposées aux demandes d'occupation du sol.

A compter du 1^{er} janvier 2020, si la SUP est publiée sur le GéoPortail de l'urbanisme, elle sera opposable aux demandes d'occupations des sols, même si l'annexion n'a pas été réalisée.

Conformément à l'article R.151-51 du code de l'urbanisme, l'annexion de PPRN au PLU fait l'objet de l'arrêté de mise à jour prévu par l'article R.153-18 de ce même code.

Conformément à l'article R.161-8 du code de l'urbanisme, l'annexion du PPRN à la carte communale fait l'objet de l'arrêté de mise à jour prévu par l'article R.163-8 de ce même code.

Il est opposable à tout mode d'occupation ou d'utilisation du sol. Les constructions, installations, travaux ou activités non soumis à un régime de déclaration ou d'autorisation préalable sont édifiés ou entrepris sous la seule responsabilité de leurs acteurs dans le respect des dispositions du présent PPR. En cas de non-respect des prescriptions définies par le PPRN, les modalités d'assurance des biens et personnes sont susceptibles d'être modifiées.

Le PPRN traduit pour les communes, leur exposition aux *risques* tels qu'ils sont actuellement connus. Aussi, il peut faire l'objet d'une révision ou d'une modification si cette exposition ou cette connaissance évolue conformément aux articles L562-4-1 et R562-10 du code de l'environnement.

III. Le contexte territorial

Les communes concernées par le PPRL du Bessin présentent une grande diversité. Ce territoire doit toutefois être ici considéré dans son ensemble.

III.1. Évolution du territoire

Cette urbanisation du XXe est cependant moins rapide que celle des communes des estuaires de l'Orne et de la Dives. Ce moindre développement urbanistique relativement modeste est principalement dû à l'attrait qu'exercent les stations balnéaires anciennes de Cabourg et Ouistreham.

Au XIXe siècle, le littoral apparaît encore comme sauvage ; les dunes protègent les marais et les habitations de l'envahissement de la mer. L'urbanisation, peu développée, est regroupée sous forme de villages et de hameaux souvent implantés à l'écart de la frange littorale et des marais qui la bordent. Seules les communes d'Arromanches-les-Bains, de Courseulles-sur-mer et de Bernières-sur-mer présentent, à cette époque, des habitations en front de mer.

L'urbanisation se développe au cours de la première moitié du XXe siècle. Le littoral d'Arromanches-les-Bains, d'Asnelles, mais aussi de Bernières-sur-mer est peu à peu gagné par l'urbanisation. Courseulles-sur-Mer se développe autour de son port et de son centre historique. Cette évolution s'accroît au cours de la seconde moitié du XXe siècle, et l'urbanisation du littoral se poursuit dans les zones les plus favorables.

III.2. La population et l'habitat

Les neuf communes concernées par le PPRL du Bessin comptent une population totale de 10 536 habitants (tab. 1). Il existe une forte disparité entre les communes (fig. 4).

La commune de Courseulles-sur-Mer représente ainsi près de 40 % de la population et les trois communes les plus peuplées (Courseulles-sur-Mer, Bernières-sur-Mer et Ver-sur-Mer) regroupent plus de 75 % de la population.

Tableau 1 Évolution de la population des communes étudiées.

Communes	Population communale (habitants)						
	1968	1975	1982	1990	1999	2010	2015
Arromanches-les-Bains	339	355	395	409	552	587	517
Asnelles	267	284	334	478	571	579	597
Bnières-sur-Mer	964	1053	1548	1563	1882	2331	2337

Communes	Population communale (habitants)						
	1968	1975	1982	1990	1999	2010	2015
Courseulles-sur-Mer	1938	2538	2992	3182	3886	4153	4118
Graye-sur-Mer	416	405	525	567	593	646	627
Meuvaines	175	163	137	137	150	150	144
Saint-Côme-de-Fresné	143	147	155	171	224	237	263
Tracy-sur-Mer	225	207	217	252	240	357	345
Ver-sur-Mer	580	701	966	1359	1307	1572	1588
Total	5047	5853	7269	8118	9405	10612	10536

Source : Insee, RP1967 à 1999 dénombremments, RP2010 et RP2015 exploitations principales.

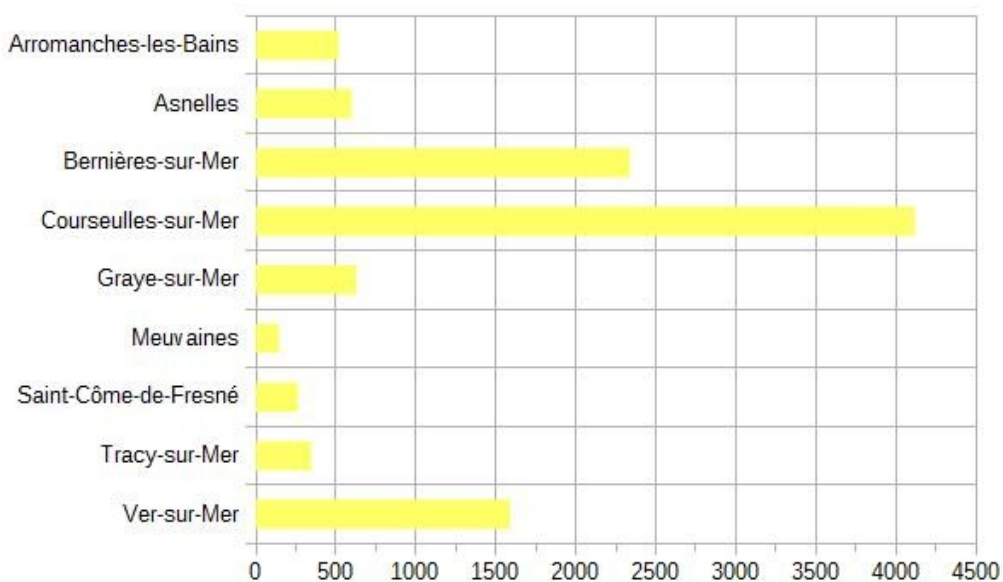


Figure 4 Populations communales en 2015 (source : Insee).

IV. Les phénomènes naturels et aléas

Le PPRL vise à limiter les conséquences de la submersion marine et de l'évolution du trait de côte. Son élaboration nécessite une connaissance aussi précise que possible de ces phénomènes et la détermination des caractéristiques des phénomènes de référence.

On utilise le concept d'*aléa* pour définir et cartographier ces caractéristiques dans la zone étudiée. Dans le cadre général des PPRN prévisibles, ce concept recouvre la probabilité d'occurrence et l'intensité de phénomènes de référence dont la période de retour est connue.

Les chapitres suivants présentent les principaux concepts utilisés (phénomènes de référence, période de retour, *aléa*) ainsi que les phénomènes naturels pris en compte par le PPRL du Bessin et les éléments qui sont à leurs origines. Les informations exploitées et les données utilisées pour caractériser ces phénomènes y sont également résumées. Enfin, les *aléas* qui leur sont associés sont présentés.

Remarque. *Les études techniques réalisées ou exploitées dans le cadre de l'élaboration du PPRL ne sont pas reprises ici dans leur intégralité. Seules les informations essentielles ont été reprises et, si nécessaire, retranscrites sous une forme non technique. Des numéros entre crochets [x] renvoient aux références bibliographiques récapitulées en page 86.*

IV.1. Concepts utilisés

Un glossaire (cf. page 8) propose les définitions des termes techniques utilisés lorsqu'ils ne sont pas expliqués dans le corps du texte.

Les aspects techniques des PPRL et notamment les méthodologies à mettre en œuvre et les principales hypothèses à retenir sont définies par des circulaires et des guides techniques. Les définitions proposées ici s'inspirent de ces documents.

Un guide spécifique au PPRL [10] précise notamment les modalités de prise en compte des ouvrages de protection et les hypothèses à retenir pour la prise en compte du changement climatique.

IV.1.1. Notion de période de retour

La période de retour est une notion statistique qui définit la probabilité d'observer un phénomène donné (le phénomène de référence) sur une période de temps donnée (100 ans dans le cas des PPRL).

Un phénomène centennal est un phénomène qui a 1 probabilité sur 100 de se produire ou d'être dépassé chaque année. Sa probabilité d'occurrence est de 63 % sur un siècle et de 99,9 % sur mille ans.

Ce n'est donc pas un phénomène qui se produit périodiquement tous les cent ans, ni un phénomène qui se produit systématiquement une fois par siècle.

Tableau 2 Période de retour et probabilité d'occurrence.

Période de retour du phénomène	Probabilité	Sur 1 an	Sur une période de 30 ans	Sur une période de 100 ans
Phénomène décennal (fréquent)	Probabilité d'occurrence	10 %	96 %	99,997 %
	Signification	1 probabilité sur 10 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	Le phénomène sera probablement observé ou dépassé une fois	Le phénomène sera « sûrement » observé ou dépassé une fois
Phénomène centennal (rare)	Probabilité d'occurrence	1 %	26 %	63 %
	Signification	1 probabilité sur 100 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	1 probabilité sur 4 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	2 probabilités sur 3 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur
Phénomène millénaire (exceptionnel)	Probabilité d'occurrence	0,1 %	3 %	10 %
	Signification	1 probabilité sur 1000 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	1 probabilité sur 33 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	1 probabilité sur 10 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur

La ligne mise en évidence correspond aux hypothèses retenues pour l'élaboration des PPRL.

Certains phénomènes (vent, précipitations, débits des cours d'eau, etc.) se prêtent à une analyse statistique si on dispose de mesures fiables portant sur des périodes d'observations suffisamment longues (plusieurs décennies pour évaluer un phénomène centennal). D'autres, comme les mouvements de terrain, ne peuvent faire l'objet de ce type d'analyse. Ils évoluent en effet de manière discontinue dans le temps (alternance de phases d'évolution lente et d'accélération ou survenue instantanée) et leur intensité est difficilement quantifiable. Tout au plus peut-on définir une fréquence empirique en comptant les événements survenus dans le passé à condition de disposer d'un inventaire représentatif de ces événements.

IV.1.2. Notion d'aléa

L'*aléa* est un concept destiné à traduire, pour une zone géographique considérée, un degré d'exposition à un phénomène naturel. Ce degré d'exposition – ou degré d'*aléa* – dépend de la probabilité d'occurrence du phénomène et de son intensité sur la zone considérée.

Pour les PPRN, l'*aléa* est défini pour un **phénomène de référence** (par exemple une crue centennale) ou pour une combinaison de phénomènes constituant un **scénario de référence** (par exemple une tempête avec des vents défavorables associés à un fort *coefficient de marée*) dont la période de retour est de 100 ans. C'est cette dernière approche qui est mise en œuvre pour le PPRL du Bessin.

L'*aléa* est évalué de manière quantitative si les caractéristiques du phénomène (hauteur d'eau, vitesses d'écoulement par exemple) peuvent être définies par des modèles mathématiques. Dans le cas contraire, on détermine l'*aléa* de manière qualitative.

IV.1.3. Phénomène et scénario de référence

Le phénomène de référence des PPRN est le plus fort phénomène historique connu si sa période de retour est supérieure à 100 ans ou, dans le cas contraire, un phénomène théorique de période de retour centennale.

Ce principe est appliqué pour l'élaboration de tous les PPRN prévisibles quels que soient les phénomènes concernés. Il doit néanmoins être adapté pour des phénomènes tels que le recul du trait de côte qui ne peuvent être aisément analysés et pour lesquels la notion de période de retour n'est pas définie.

Des études statistiques détaillées ont été réalisées pour définir les caractéristiques des phénomènes ou de combinaison de phénomène de période de retour centennale.

Cette approche est complétée par une prise en compte des effets probables du changement climatique tels qu'ils ont pu être évalués par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les éléments retenus pour les PPRL sont repris par le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [10].

La complexité des phénomènes naturels et les multiples interactions entre les éléments qui se combinent pour les provoquer (tempêtes, *marées*, comportement des systèmes de protection naturels ou artificiels, etc.) impliquent l'élaboration de scénarios de référence correspondant à des ensembles d'hypothèses. Le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [10] définit donc trois scénarios, résumés dans le tableau 3, qui seront utilisés pour la cartographie de l'*aléa* de submersion marine :

1. un scénario de référence, qui intègre une surélévation de 20 cm du niveau marin par rapport au niveau actuel pour tenir compte de son évolution à court terme du fait du réchauffement climatique ;
2. un scénario à échéance 100 ans, qui intègre une surélévation de 60 cm du niveau marin par rapport au niveau actuel pour tenir compte de son évolution à échéance

100 ans. Si le trait de côte est susceptible d'évoluer, c'est sa position probable à échéance 100 ans qui est prise en compte. Toutes les autres hypothèses sont identiques à celles du scénario de référence ;

3. un scénario en l'absence d'ouvrage, qui intègre l'hypothèse d'une *ruine généralisée* des ouvrages de protection, toutes les autres hypothèses étant identiques à celles du scénario de référence. Ce scénario n'est étudié qu'à titre informatif.

Tableau 3 Caractéristiques des scénarios de référence.

Scénario	Désignation de l'aléa	Niveau marin
Scénario de référence	<i>aléa</i> de référence	niveau actuel + 20 cm
Scénario à échéance 100 ans	<i>aléa</i> à échéance 100 ans	niveau actuel + 60 cm
Scénario sans ouvrage de protection	<i>Aléa</i> de référence avec <i>ruine généralisée</i> des ouvrages de protection	niveau actuel + 20 cm

Remarque. Deux scénarios complémentaires ont été étudiés à la demande du service instructeur. Ils correspondent respectivement à un phénomène fréquent, à forte probabilité d'occurrence et à un phénomène exceptionnel, de plus grande ampleur que le scénario de référence et à faible probabilité d'occurrence. Ces scénarios correspondent aux exigences de la démarche d'identification des territoires à risque d'inondation (TRI), initiée par la directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007. Ces scénarios ne sont pas utilisés pour le PPRL, mais ils apportent des informations pouvant être utilement intégrées aux PCS.

IV.2. Les phénomènes historiques

La connaissance des phénomènes passés est un préalable indispensable à l'analyse des phénomènes naturels pouvant survenir dans le futur. Cette connaissance doit toutefois être interprétée avec prudence et discernement pour de multiples raisons : les informations disponibles peuvent être incomplètes, erronées ou tendancieuses, le milieu a pu évoluer depuis la survenue du phénomène (évolution de la topographie, réalisation d'aménagement, construction ou destruction d'ouvrages de protection, etc.), la *vulnérabilité* des enjeux peut être différente et l'ampleur des dommages mal interprétée en termes d'intensité du phénomène.

Les phénomènes historiques ayant affecté la zone d'étude ont été recherchés et inventoriés [1] à partir de principales sources disponibles :

- les archives départementales¹ ;
- les études techniques disponibles mises à disposition par le maître d’ouvrage ;
- les collectivités, consultées par le biais d’un questionnaire spécifique et lors des rencontres de collecte de données et de concertation.

La recherche porte essentiellement sur les tempêtes et leurs conséquences. Les mouvements de terrain affectant les falaises ne font pas, sauf événement catastrophique ou remarquable par leur ampleur, l’objet de relation dans les archives ; ils sont en effet le plus souvent perçus comme la conséquence d’une évolution naturelle et inéluctable du littoral et non comme des évènements marquants.

Cet inventaire ne prétend pas à l’exhaustivité et la fréquence des tempêtes répertoriées entre le début du XIXe et le début du XXIe siècle (fig. 5) pour la zone comprise entre Dives-sur-Mer et Tracy-sur-Mer montre bien que les sources disponibles sont très incomplètes. Il comprend les événements tempétueux ayant ou non fait des dégâts. Certaines données, notamment en période de conflits ou pour certaines décennies peuvent être peu nombreuses voire inexistantes. Par ailleurs, certaines décennies bien renseignées peuvent ne l’être que sur deux ou trois ans, sans présenter un historique complet et homogène.

Remarque. *Si la connaissance des phénomènes passés est utile, la mise en œuvre de recherches plus poussées, exploitant d’autres sources, ne se justifie pas dans le cadre de l’élaboration d’un PPRL. Les informations collectées sont en effet les plus souvent très succinctes et peu exploitables hormis pour souligner la réalité de tempêtes violentes.*

1 Notamment les séries E dépôt, Bib, J, M, O, PR, S et W.

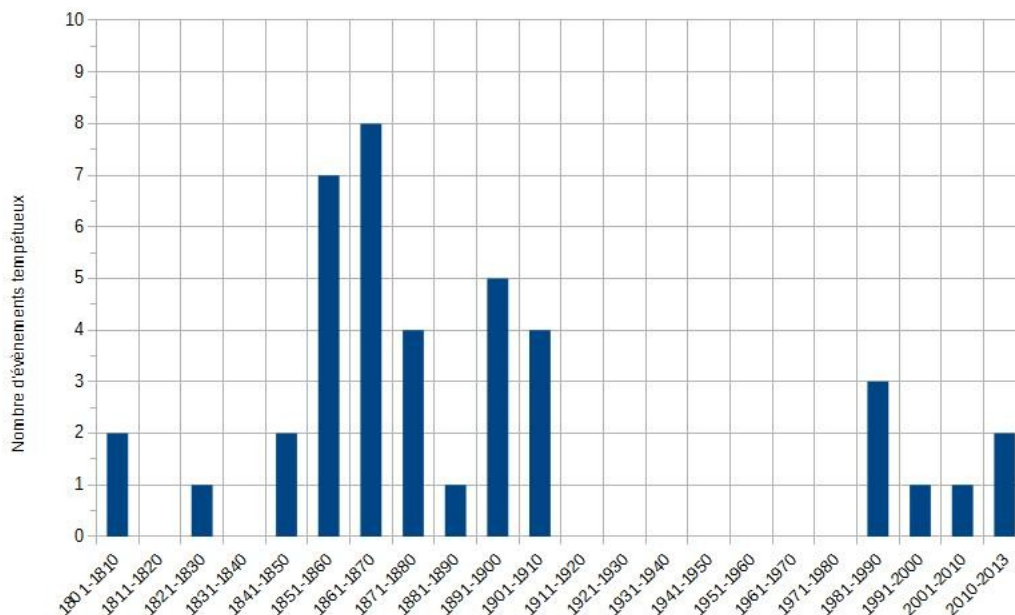


Figure 5 Nombre d'évènements tempétueux répertoriés par décennie pour la zone comprise entre la Dives et le Bessin.

Toutes les tempêtes répertoriées ont fait l'objet d'une fiche descriptive, qui reprend l'ensemble des informations disponibles. Les informations essentielles sont résumées dans le tableau 4 pour les événements les plus anciens.

Tableau 4 Évènements tempétueux recensés du début du XIXe au début du XXe siècle.

Date	Localisation	Submersion	Paquet de mer	Brèche	Surverse	Inondation	Direction du vent dominant	Marée (coeff)	Dégâts	Dégâts ouvrages	Dégâts cordon dunaire	Dégâts habitations	Inondation marais	naufrage
1822	Courseulles-sur-mer						Ouragan		X	X				
Février 1847	Courseulles-sur-mer	X	X						X	X				
11 janvier 1849	Courseulles-sur-mer	X		X		X			X	X	X	X	X	
28-29 août 1851	Courseulles-sur-mer													
26 septembre 1851	Graye-sur-mer, Courseulles-sur-mer, Bernières-sur-mer	X			X	X			X	X			X	
13 octobre 1852	Courseulles-sur-mer							FCM	X	X				
16-17 fév. 1855	Courseulles-sur-mer								X	X				
13 octobre 1856	Bernières-sur-mer	X		X		X			X	X				
Mars 1859	Courseulles-sur-mer	X	X				NNE	VE	X	X				
20 janvier 1863	Tracy-sur-mer, Courseulles-sur-mer, Bernières-sur-mer								X	X	X			

Date	Localisation	Submersion	Paquet de mer	Brèche	Surverse	Inondation	Direction du vent dominant	Marée (coeff)	Dégâts	Dégâts ouvrages	Dégâts cordon dunaire	Dégâts habitations	Inondation marais	nauffrage
Février 1863	Tracy-sur-mer								X	X				
11 février 1864	Tracy-sur-mer								X	X				
Avril 1868	Tracy-sur-mer								X	X				
9-12 nov. 1868	Courseulles-sur-mer								X	X				
29 mars 1869	Courseulles-sur-mer								X	X	X			
Juin 1870	Tracy-sur-mer								X	X				
18 août 1876	Courseulles-sur-mer								X	X				
21 juin 1880	Saint-Come-de-Fresné							FCM	X	X				
18 octobre 1882	Asnelles							FCM	X	X	X			
Mars 1893	Courseulles-sur-mer							FCM	X	X				
Hiver 1894-1895	Courseulles-sur-mer							FCM	X	X				
11-13 jan. 1899	Asnelles et Meuvaines	X	X	X					X		X	X		
12 février 1899	Asnelles et Meuvaines	X	X	X					X		X	X		
22 mars 1901	Bernières-sur-mer								X	X				
21-23 fév. 1905	Saint-Come-de-Fresné								X	X				
Oct 1905	Asnelles								X	X				

X : présence de l'élément identifié, FCM : fort coefficient de marée, VE : marée de vives eaux

Les phénomènes les plus récents sont mieux connus et on dispose d'éléments plus précis permettant de mieux évaluer les dommages qu'ils ont occasionnés.

Les principales tempêtes sont répertoriées dans le tableau 5. Certaines d'entre elles ont conduit à des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT) reportés dans le tableau 6.

Tableau 5 Principales tempêtes répertoriées (1962 – 2018)

Date	Observations
15 au 17 décembre 1962	Vents violents de secteur Ouest (100 km/h en rafales).
6 et 7 juillet 1969	Houle de 8 m en Manche, vents violents (108 km/s à Longue le 07/07/1969).
16 et 17 janvier 1974	Vents violents (122 km/h à Caen).
1 et 2 décembre 1976	Vents violents de secteur Ouest (100 à 140 km/h en rafales).
15 décembre 1979	Les rafales atteignent 144 km/h à la Pointe de la Hague (50) et 148 km/h au Cap-de-la-Hève (76).
23 et 24 janvier 1984	Vents violents à Caen (112 km/h). Dégâts liés à l'action mécanique des vagues.
26 et 27 novembre 1983	Vent de 144 km/h à Caen le 26/11/1983. Intensité exceptionnelle.
22 au 24 novembre 1984	Vent de 137 km/h à Caen le 26/11/1984.

Date	Observations
15 et 16 octobre 1987	« Ouragan ». Arrêté CATNAT sur les communes du littoral.
26 décembre 1999	Tempête Lothar. Surcote remarquable avoisinant les 70 cm à 1 mètre près de la trajectoire de la dépression (Bretagne et Normandie).
27 et 28 février 2010	Tempête Xynthia.
03 janvier 2018	Tempête Eléonor, marée de 109, ruptures de digues

Tableau 6 Arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT)

Nature de l'événement	COMMUNE	Précision localisation	Reconnaissance Catastrophe naturelle
Tempête	SAINT-CÔME-DE-FRESNÉ	installations ostréicoles	27/06/1983 déclaration CATNAT au niveau du département
Tempête	VER-SUR-MER	Descente à bateaux Ouest	27/06/1983 déclaration CATNAT au niveau du département
Tempête	BERNIERES-SUR-MER	Littoral	22/10/1987
Tempête	COURSEULLES-SUR-MER	Littoral	22/10/1987
Tempête	GRAYE-SUR-MER	Littoral	22/10/1987
Tempête	MEUVAINES	Littoral	22/10/1987
Tempête	SAINT-COME-DE-FRESNE	Littoral	22/10/1987
Tempête	TRACY-SUR-MER	Littoral	22/10/1987
Tempête	VER-SUR-MER	Littoral	22/10/1987
Tempête	ASNELLES	Littoral	24/07/1990
Tempête	BERNIERES-SUR-MER	Littoral	24/07/1990
Tempête	COURSEULLES-SUR-MER	Littoral	24/07/1990
Tempête	VER-SUR-MER	Littoral	24/07/1990
Inondation	SAINT-COME-DE-FRESNE	Littoral	10/05/2010
Inondation	VER-SUR-MER	Digue, maisons bord de mer	10/05/2010
Inondation	ASNELLES	Quartier de Roseau plage, camping , digue	20/06/2013

La tempête Xynthia a marqué les esprits du fait de son intensité exceptionnelle et des nombreuses victimes qu'elle a provoquées sur le littoral atlantique, notamment du fait de la rupture de digues de protection.

Dans la zone concernée par le PPRL du Bessin, elle ne fut toutefois pas d'une intensité exceptionnelle et les conditions observées sont sensiblement inférieures aux conditions centennales constituant le phénomène de référence pour l'élaboration de ce PPRL.



Figure 6 Conséquences de la tempête Xynthia à Bernières-sur-Mer (source : mairie).

IV.3. La submersion marine

Ce phénomène correspond à l'inondation temporaire de la zone côtière par la mer lors de conditions météorologiques et océaniques défavorables, conjuguant basses pressions atmosphériques et fort vent d'afflux lors d'une pleine mer [10]. Ces conditions se rencontrent généralement lors de fortes tempêtes avec de forts coefficients de *marées*. Ces inondations peuvent se prolonger pendant plusieurs jours et survenir de manière brutale.

La submersion peut se produire dans trois cas [10] :

1. par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la cote du terrain naturel ou à la cote de crête des ouvrages ;
2. par franchissements de paquets de mer liés aux vagues, lorsque après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la cote du terrain naturel ou à la cote de crête des ouvrages ;
3. par rupture du cordon dunaire naturel ou d'un ouvrage de protection², lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin. Une telle rupture peut

² On utilise le terme de « *système de protection* » pour désigner les éléments naturels ou anthropiques qui protègent de la mer une zone située sous le niveau marin.

être consécutive à l'attaque par la houle, à l'insuffisance ou au mauvais entretien d'un ouvrage, à une érosion chronique intensive, à un phénomène de *surverse*, à un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel, etc.

D'autres phénomènes sont généralement associés aux conditions qui peuvent induire une submersion marine :

- le choc des vagues peut exercer des pressions importantes contre les structures sans donner lieu à une inondation significative. Ce phénomène est ici appelé « *choc mécanique* » ;
- le déversement brutal des eaux peut provoquer des chocs violents et s'accompagner d'écoulements très rapides qui affectent notamment les zones situées immédiatement à l'arrière des ouvrages systèmes de protection en cas de brèches ou dans des zones d'écoulement préférentiel.

Le PPRL s'attache à prendre en compte tous les aspects de ce phénomène.

IV.3.1. Caractérisation de la submersion marine

Le phénomène de submersion marine est caractérisé par un ensemble de conditions naturelles particulières, généralement observées lors des tempêtes (fort vent induisant de fortes houles, basse pression atmosphérique) concomitantes avec de forts coefficients de *marée*. Ces conditions peuvent également provoquer le débordement des cours d'eau côtiers, qui contribuent alors au phénomène de submersion.

Les principaux éléments contribuant à ces conditions spécifiques dans la zone d'étude sont présentés succinctement dans le chapitre suivant.

Sur les côtes de la Manche, les tempêtes sont caractérisées par des vents modérés à forts (plus de 8 m/s soit environ 30 km/h) de secteur Nord – Nord-Ouest à Nord -Est, combinés à une basse pression atmosphérique et se prolongeant pendant plus de 48 h consécutives. Il y a une grande variabilité inter-annuelle des tempêtes dans la Manche, mais elles ont majoritairement lieu en hiver.

Les tempêtes ont plusieurs impacts sur le littoral et sont évidemment le principal facteur de submersion marine. En effet, les surcotes et le déferlement engendré tendent à augmenter le niveau marin, ce qui a pour effet d'endommager voire de faire rompre les ouvrages de protection, tels les cordons dunaires ou les digues. La submersion peut également être provoquée par le franchissement des ouvrages par des paquets de mer.

Les tempêtes peuvent par ailleurs être la cause d'inondations dans l'arrière-pays par débordement des cours d'eau, surtout dans les zones de marais et de polders. En effet, l'entrée d'eau dans les cours d'eau et les canaux peut entraîner un débordement de ceux-ci et par la suite poser des problèmes de drainage des zones basses.

Enfin, les tempêtes sont en partie responsables de l'érosion des côtes, ce qui peut avoir une incidence sur la capacité du site à résister à une submersion. En effet, l'érosion tend à amincir les dunes, à fragiliser les ouvrages comme les digues, qui n'ont alors plus le même rôle protecteur.

Ces diverses conditions sont étudiées séparément puis combinées pour définir les scénarios de référence du PPRL. Les analyses du niveau marin, des vents et l'état de la mer (houle) sont résumées dans les chapitres suivants.

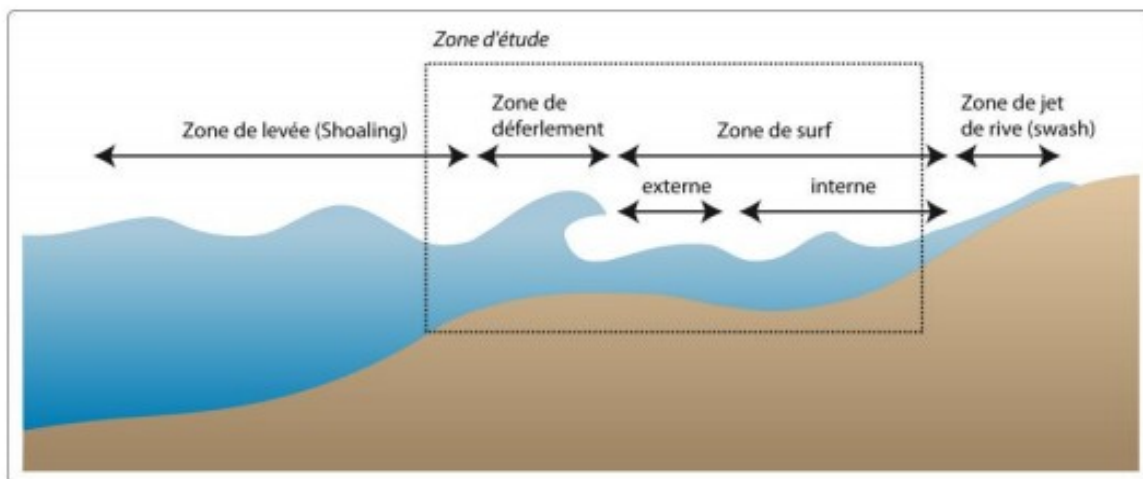


Figure 7 Zones hydrodynamiques (Cartier, 2013)

IV.3.1.1. Le niveau marin et les marées

La connaissance des niveaux marins, et plus particulièrement des niveaux marins extrêmes, est essentielle pour l'étude de la submersion marine. Les niveaux marins aggravent les effets des tempêtes et favorisent la submersion marine.

Le niveau marin varie en fonction des *marées* et l'ampleur de ces variations n'est pas constante le long des côtes. Une analyse de ces variations est donc nécessaire pour définir les niveaux marins de référence qui seront intégrés aux scénarios utilisés pour la détermination de l'*aléa* de submersion marine.

Remarque. Pour faciliter l'interprétation des niveaux marins et notamment leur comparaison avec la topographie dans les zones potentiellement submersibles et avec les cotes des ouvrages de protection, les niveaux marins seront exprimés dans le système national de référence pour les altitudes (IGN69) et non en cote marine rattachée au zéro hydrographique local.

L'annuaire des *marées* du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) de 2012 indique les hauteurs des *marées* astronomiques (tab. 7) pour plusieurs sites côtiers du Calvados localisés sur la figure 8. Le *marnage* est de 3,5 m entre les moyennes hautes et basses mers et de 6,5 m lors des vives-eaux.

Dans la Manche, l'onde de *marée* se propage de l'Ouest à l'Est et possède des caractéristiques différentes le long des côtes en raison de son interaction avec les fonds lors de sa propagation.

Tableau 7 Niveaux de marée astronomique le long des côtes du Calvados.

Niveau marin Sites	PHMA*	PMVE*	PMME*	NM*	BMME*	BMVE*	PBMA*
Dives-sur-Mer	4,240 m	3,710 m	2,310 m	0,490 m	-1,440 m	-3,240 m	-4,300 m
Ouistreham	4,040 m	3,620 m	2,320 m	0,550 m	-1,380 m	-3,080 m	-4,030 m
Niveau marin Sites	PHMA*	PMVE*	PMME*	NM*	BMME*	BMVE*	PBMA*
Courseulles (Large)	3,960 m	3,510 m	2,260 m	0,570 m	-1,190 m	-2,840 m	-3,720 m
Arromanches-les-Bains	3,871 m	3,381 m	2,081 m	0,411 m	-1,319 m	-2,919 m	-3,779 m
Port-en-Bessin	3,983 m	3,453 m	2,153 m	0,503 m	-1,197 m	-2,747 m	-3,597 m

(*) **PHMA** : plus haute mer astronomique, **PMVE** : pleine mer moyenne de vives-eaux, **PMME** : pleine mer moyenne de mortes-eaux, **NM** : niveau moyen, **BMME** : basse mer moyenne des mortes-eaux, **BMVE** : basse mer moyenne des vives-eaux, **PBMA** : plus basse mer astronomique.

Les niveaux marins extrêmes ont été définis, pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans, dans une étude statistique réalisée en 2012 dans le cadre d'un partenariat SHOM – CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales) [13]. Cette étude repose sur l'exploitation de l'ensemble des données marégraphiques disponibles au SHOM³, et les niveaux marins calculés tiennent donc compte des surcotes atmosphériques.

Les niveaux de pleine mer avec une période de retour de 100 ans proposés par cette étude pour la Baie de Seine sont présentés sur la figure 8.

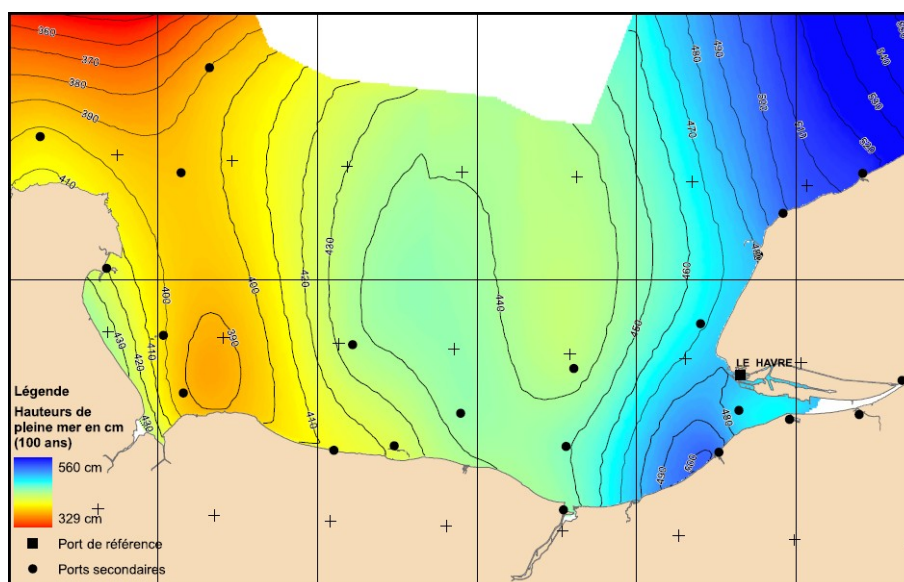


Figure 8 Carte des niveaux extrêmes de pleine mer en Baie de Seine pour une période de retour de 100 ans (source : SHOM/CETMEF, 2012)

3 Données disponibles jusqu'au 22/11/2009.

Les valeurs concernant spécifiquement la zone d'étude, interpolées par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) en 2013, à partir des résultats de l'étude [13], sont récapitulées dans le tableau 8.

Tableau 8 Niveaux marins extrêmes dans la zone étudiée

Communes	Niveau extrême de pleine mer (m IGN69) Période de retour 100 ans
Le Havre*	4,8 m
Dives-sur-Mer	4,9 m
Cabourg	
Varaville	
Franceville-Merville-Plage (Est)	
Franceville-Merville-Plage (Ouest)	4,5 m
Sallenelles	
Ouistreham	
Colleville-Montgomery	
Hermanville-sur-Mer	4,4 m
Bernières-sur-Mer	
Courseulles-sur-Mer	
Graye-sur-Mer	
Ver-sur-Mer	
Meuvaines	
Asnelles	
Saint-Côme-de-Fresné	
Arromanches-les-Bains	
Tracy-sur-Mer	
Cherbourg*	4,2 m
* niveaux de référence des marégraphes (SHOM – CETMEF 2012) Les niveaux sont issus de l'interpolation réalisée par la DREAL en 2013	

Pour les différents scénarios étudiés dans le cadre du PPRL, une interpolation plus fine des niveaux d'eau par section homogène de la côte est proposée. Une approche différente est appliquée pour les conditions d'Ouest et du Nord – Nord-Est :

- secteur Ouest : ces niveaux extrêmes correspondent à une *pleine mer astronomique* importante, liée à une *surcote atmosphérique*. Les résultats de l'étude des niveaux extrêmes le long des côtes françaises du SHOM – CETMEF [13] sont utilisées pour déterminer les niveaux de chaque section homogène par rapport au niveau au Havre.

– secteur Nord – Nord-Est : l’analyse statistique des niveaux extrêmes est faite sur les pleines mers astronomiques sans surcotes atmosphériques, en raison de la faible corrélation constatée entre ces deux phénomènes. L’interpolation des cotes extrêmes est, par conséquent, faite sur la base des pleines mers astronomiques aux ports de la zone PPRL : Dives-sur-Mer, Ouistreham, Courseulles-sur-Mer et Arromanches-les-Bains. Les cotes applicables dans les zones situées entre ces ports sont interpolées à dire d’expert.

Les valeurs obtenues par section homogène sont présentées sur la figure 9. Elles ne prennent pas en compte l’élévation due au réchauffement climatique, ni les effets locaux tels que le *set-up de houle* (qui a été étudié dans le modèle de houle).

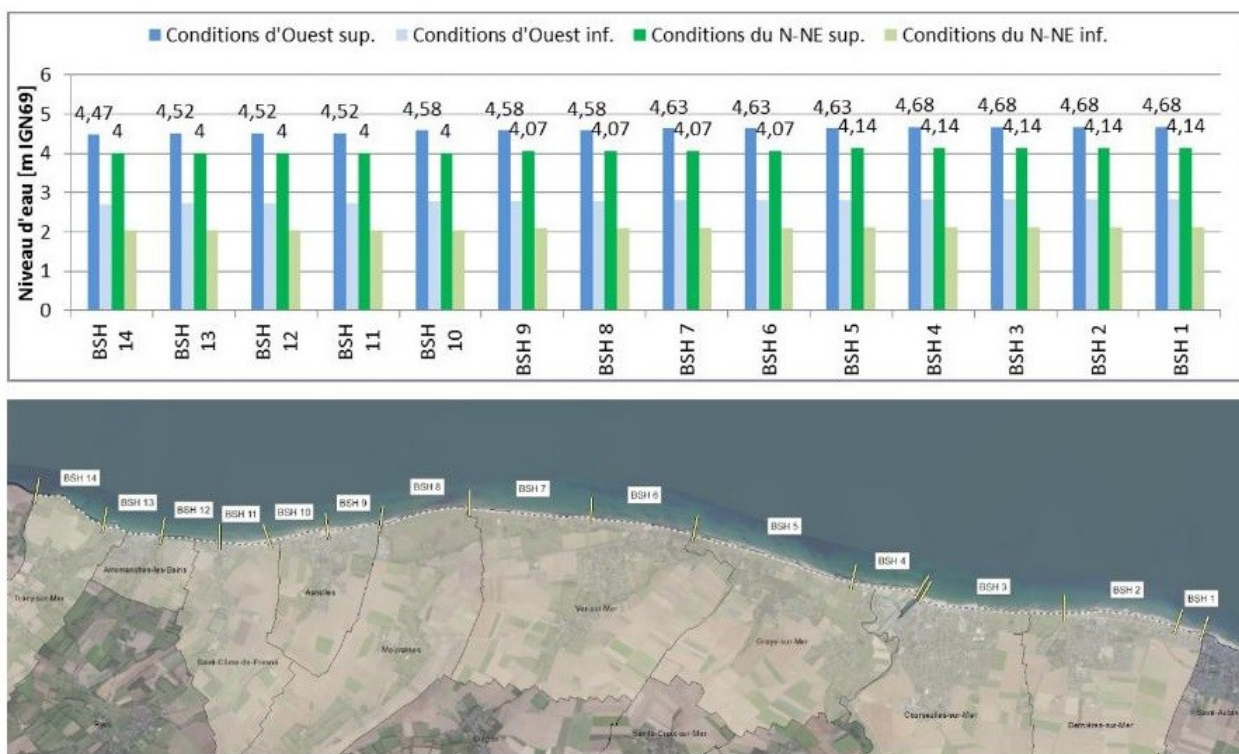


Figure 9 Niveaux de référence +20 cm d’élévation par section homogène, secteur Bessin (conditions d’Ouest et du N-NE, valeurs supérieures et inférieures, surcote de houle exclue).

IV.3.1.2. Les vents

Les vents jouent un rôle essentiel dans la formation de la houle. Ils ont été étudiés à l’échelle régionale à partir des données de Météo-France et à une échelle plus locale, à partir de divers points de mesure permettant une analyse quantitative des vents au large de la zone d’étude et des vents littoraux.

a. Les vents régionaux

La circulation des centres dépressionnaires du nord de l’Atlantique à la Mer du Nord génère sur l’ex Basse-Normandie un régime de vent dominant de secteur Sud-Ouest à Ouest (fig. 10).

Les vents les plus forts sont enregistrés en hiver dans les zones exposées que sont les côtes de l'ouest du Cotentin ainsi que les caps situés au nord de la région. On relève en moyenne 130 jours de vent fort (rafales supérieures à 16 m/s) à La Hague contre 60 jours à Deauville/Saint Gatien.

Une seconde composante de vent, de Nord-Est à Est, se rencontre régulièrement en présence d'un *anticyclone* ou d'une *dorsale* se prolongeant sur les îles britanniques. Au printemps et en été, une telle situation tend à renforcer les régimes de brise qui s'établissent régulièrement sur la frange littorale septentrionale. Dans le Calvados, ces brises marines se font parfois sentir loin en plaine, jusqu'au pays de Falaise (IFREMER, 2013 & Météo France, 2013).

La rose de vent de Météo France en baie de Seine montre le composant dominant du sud-ouest à ouest, avec des valeurs fréquentes supérieures à 5 m/s et à 8 m/s (respectivement 18 km/h et 29 km/h). Le second composant du Nord-est est également visible. On trouve plus de variation dans les directions de vent à Caen. Les vitesses de vent supérieures à 29 km/h sont nettement plus rares comparé aux vitesses mesurées à la côte.

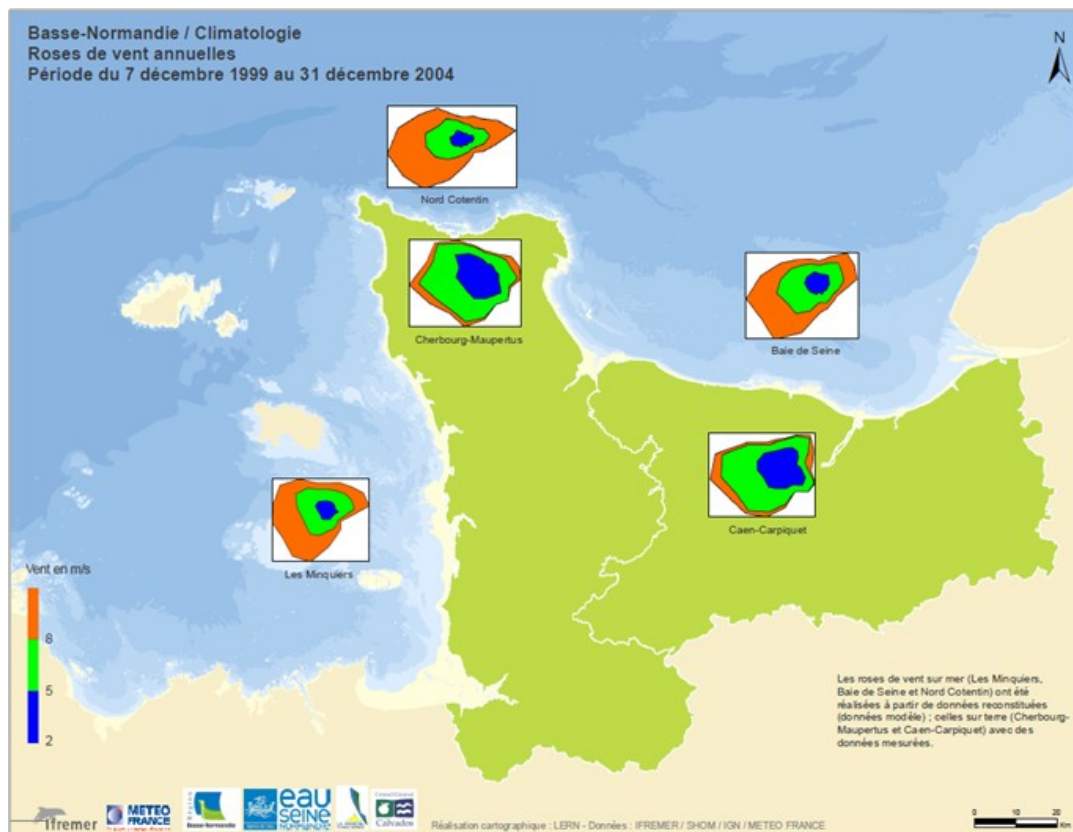


Figure 10 Comparaison de roses de vent sur le territoire de la Basse-Normandie (IFREMER & Météo France 2013).

b. Vents locaux

Plusieurs stations météorologiques de Météo France sont présentes sur le littoral du Calvados et fournissent des informations sur les vents locaux sur le littoral (Englesqueville-la-Percée, Port-en-Bessin-Huppain, Bernières-sur-Mer, Sallenelles, Saint-Gatien-des-Bois).

Une étude réalisée par le GRESARC (Groupe de Recherche sur les Environnements Sédimentaires Aménagés et les Risques Côtiers) en 2007 à partir des données de la station de Bernières-sur-Mer, montre la prédominance des vents du Sud-Ouest à la côte (17 % des vents sont de secteur N 200° à N 220°) et du Nord-Est (10 % des vents sont de secteur N 50° à N 70°).

Les échanges thermiques entre la mer et les terres peuvent engendrer des brises littorales. Ces brises, variant de direction entre jour et nuit (respectivement vers les terres et vers la mer) ont un effet très local sur les *champs de houle*. Le long des côtes du Calvados, où le régime de vents normaux est bien établi et prédominant, ces brises ont une influence négligeable par rapport aux *champs de vent* de tempête en conditions extrêmes.

c. Les vents au large

Les données mesurées au large par le Greenwich Light Vessel⁴, et fournies par l'institut climatologique du Royaume-Uni (Met Office) permettent d'apprécier les vents au large. Ces données montrent que les vents d'Ouest à Sud-Ouest sont les plus fréquents dans la Manche, mais que les vents, moins fréquents, des secteurs Nord-Ouest à Nord-Est sont à peu près aussi intenses.

Ces dernières directions de vent exposent la côte du Calvados aux *clapots* qui sont pris en compte pour l'analyse des *concomitances* niveau extrême – houle extrême.

IV.3.2. Aléas de submersion marine

Pour caractériser l'*aléa* de submersion marine, un modèle numérique⁵ a été utilisé. Ce modèle intègre la *bathymétrie*, la topographie côtière, et un phénomène de référence centennal, défini par des niveaux marins intégrant les états de la mer et les effets à court terme du réchauffement climatique (tab. 9). Les cours d'eau côtiers sont intégrés à ce modèle pour tenir compte des effets d'éventuels débordements induits par les conditions marines.

Le modèle a été testé et les paramètres ajustés à partir des observations effectuées lors de la tempête Xynthia. La reconstitution de la submersion observée lors de cette tempête a été jugée satisfaisante par le service instructeur qui a validé les hypothèses de modélisation.

La caractérisation de l'*aléa* de submersion marine est complétée par la prise en compte des chocs mécaniques et des dispositifs de protection connus lors de l'élaboration du PPRL.

4 Bateau phare situé à 50,4° de latitude et 0° de longitude, au large de Newhaven. On exploite une série de mesures de 13 années.

5 Logiciel (InfoWorks ICM, version 5.0) permettant de calculer les caractéristiques des écoulements (hauteurs d'eau et vitesses d'écoulements) à partir de divers paramètres (rugosité, débits) en utilisant les lois de l'hydraulique.

Remarque. La période de retour du phénomène de référence ne correspond pas à la combinaison de phénomènes de même période de retour. Le phénomène de référence pour la submersion centennale ne correspond pas à un niveau marin centennial conjugué à un état de la mer centennial. Une telle combinaison correspond à une submersion marine plus rare (période de retour très supérieure à 100 ans). Il existe théoriquement une infinité de combinaison de niveaux marin et d'état de la mer correspondant à des conditions de submersion centennale.

IV.3.2.1. Bathymétrie et topographie

La modélisation nécessite une connaissance détaillée de la *bathymétrie* et de la topographie. La principale source d'information utilisée est la base de données Litto3D de l'institut géographique nationale (IGN) qui fournit une modèle numérique de terrain détaillé (maille métrique). Ces données ont été utilisées pour construire le maillage de calcul du modèle hydraulique.

IV.3.2.2. Niveau marin de référence

Le niveau marin de référence est obtenu, par tronçon homogène, à partir du niveau marin centennial Z, qui correspond à la *marée astronomique* et une *surcote atmosphérique*, auquel on ajoute la surcote liée à la houle et l'élévation de 0,20 m pour la prise en compte du réchauffement climatique (tab. 3). Les données correspondant au scénario de référence et au scénario à échéance 100 ans sont présentées respectivement dans les tableaux 9 et 10.

La surcote liée à la houle (*set-up de houle*) a été calculée par modélisation [3] à partir des hypothèses issues des analyses statistiques [2].

Tableau 9 Niveaux marins du scénario de référence.

N°	Commune	Nom	Niveau marin	Set-up de houle	Élévation climatique	Niveau de référence
1	Bernières-sur-Mer	Bernières-est	4,48 m	0,25 m	0,20 m	4,93 m
2	Bernières-sur-Mer	Remblai de Bernières	4,48 m	0,24 m	0,20 m	4,92 m
3	Bernières-sur-Mer Courseulles-sur-Mer	Bernières-ouest et Courseulles-est	4,48 m	0,22 m	0,20 m	4,90 m
4	Courseulles-sur-Mer Graye-sur-Mer	Dune de Courseulles et Graye-sur-Mer	4,48 m	0,25 m	0,20 m	4,93 m
5	Graye-sur-Mer	Dune de Graye-sur-Mer	4,43 m	0,25 m	0,20 m	4,88 m
6	Ver-sur-Mer	Ver-sur-Mer-est	4,43 m	0,28 m	0,20 m	4,91 m
7	Ver-sur-Mer	Marais de Ver-sur-Mer	4,43 m	0,25 m	0,20 m	4,88 m
8	Meuvaines	Marais de Meuvaines	4,38 m	0,20 m	0,20 m	4,78 m

N°	Commune	Nom	Niveau marin	Set-up de houle	Élévation climatique	Niveau de référence
9	Asnelles	Asnelles-est	4,38 m	0,15 m	0,20 m	4,73 m
10	Asnelles Saint-Come-de-Fresné	Asnelles-ouest	4,38 m	0,27 m	0,20 m	4,85 m
11	Saint-Come-de-Fresné	Saint-Come-de-Fresné – La Guerre	4,32 m	0,18 m	0,20 m	4,70 m
12	Saint-Come-de-Fresné Arromanches-les-Bains	Falaises de Saint-Come-de-Fresné et Arromanches	4,32 m	0,16 m	0,20 m	4,68 m
13	Arromanches-les-Bains Tracy-sur-Mer	Remblai d'Arromanches	4,32 m	0,16 m	0,20 m	4,68 m
14	Tracy-sur-Mer	Falaises de Tracy	4,27 m	0,16 m	0,20 m	4,68 m

Tableau 10 Niveaux marins du scénario à échéance 100 ans.

N°	Commune	Nom	Niveau marin	Set-up de houle	Élévation climatique	Niveau de référence à 100ans
1	Bernières-sur-Mer	Bernières-est	4,48 m	0,25 m	0,60 m	5,33 m
2	Bernières-sur-Mer	Remblai de Bernières	4,48 m	0,24 m	0,60 m	5,32 m
3	Bernières et Courseulles-sur-Mer	Bernières-ouest et Courseulles-est	4,48 m	0,22 m	0,60 m	5,30 m
4	Courseulles et Gray- sur-Mer	Dune de Courseulles et Graye-sur-Mer	4,48 m	0,25 m	0,60 m	5,33 m
5	Gray-sur-Mer	Dune de Graye-sur- Mer	4,43 m	0,25 m	0,60 m	5,28 m
6	Ver-sur-Mer	Ver-sur-Mer-est	4,43 m	0,28 m	0,60 m	5,31 m
7	Ver-sur-Mer	Marais de Ver-sur-Mer	4,43 m	0,25 m	0,60 m	5,28 m
8	Meuvaines	Marais de Meuvaines	4,38 m	0,20 m	0,60 m	5,18 m
9	Asnelles	Asnelles-est	4,38 m	0,15 m	0,60 m	5,13 m
10	Asnelles et Saint- Come-de-Fresné	Asnelles-ouest	4,38 m	0,27 m	0,60 m	5,25 m
11	Saint-Come-de-Fresné	Saint-Côme – La Guerre	4,32 m	0,18 m	0,60 m	5,10 m
12	Saint-Come-de-Fresné et Arromanches-l-B	Falaises de Saint- Come et Arromanches	4,32 m	0,16 m	0,60 m	5,08 m
13	Arromanches-l-B et Tracy-s-M	Remblai d'Arromanches	4,32 m	0,16 m	0,60 m	5,08 m
14	Tracy-sur-Mer	Falaises de Tracy	4,27 m	0,16 m	0,60 m	5,08 m

IV.3.2.3. Dimension temporelle de l'analyse

La modélisation est effectuée pour une durée couvrant trois cycles de *marées*, avec le niveau marin maximal pour la haute mer du second cycle (fig.11).

Cette dimension temporelle est importante, car elle permet la prise en compte des phases de remplissage et de vidange successives des zones submersibles.

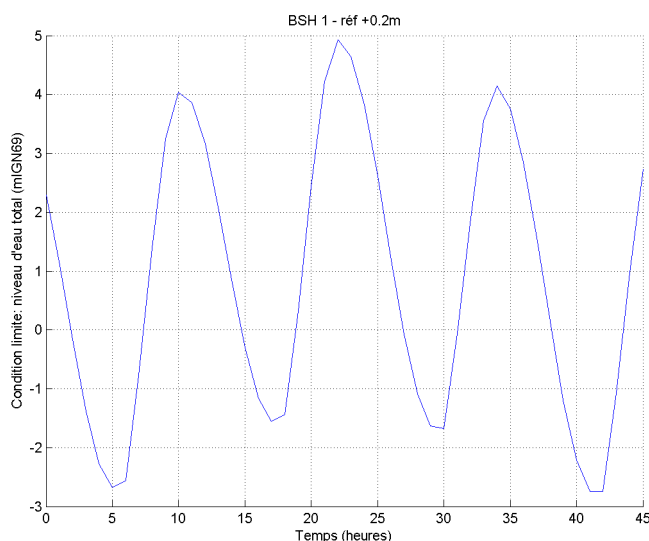


Figure 11 Niveau marin pour le scénario de référence (trois cycles de marée).

IV.3.2.4. Les cours d'eau côtiers

Les niveaux marins élevés peuvent gêner les écoulements dans les cours d'eau côtiers et ainsi provoquer le débordement de ces cours d'eau. Ces débordements contribuent à la submersion marine et ils doivent donc être pris en compte lors de l'analyse de la submersion marine.

Ces cours d'eau sont donc intégrés au modèle comme élément topographique et hydraulique (ouvrages hydrauliques, ouvrages de protection, débit). Les débits retenus sont les débits inter-annuels moyens⁶, déterminés à partir des mesures disponibles ou, à défaut, d'estimation reposant sur une étude hydrologique spécifique.

Dans la zone étudiée, la Seulles a été prise en compte selon cette méthode et un débit de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ⁷ a été utilisé. Ce débit est utilisé pour tous les scénarios étudiés.

⁶ Débit caractéristique d'un cours d'eau correspondant à la moyenne des débits annuels pour une période de référence. Le débit annuel est la moyenne des débits journaliers moyens mesurés durant une année.

⁷ Débit inter-annuel moyen calculé à partir des données mesurées à Tierceville, 2 km en amont de la zone d'étude.

IV.3.2.5. Prise en compte des ouvrages de protection et de leur défaillance

a. Définition des ouvrages de protection

Un système complet de protection est un système cohérent du point de vue hydraulique pour la protection effective des populations situées dans la zone protégée. Il peut comprendre un système de digues (c'est-à-dire des digues de premier et de second rang), des structures naturelles (cordons dunaires ou cordons de galets) et les ouvrages « maritimes » contribuant à leur maintien (type brise-lames, épis, etc.), éventuellement combinés, ainsi que les dispositifs de drainage, de stockage et d'évacuation des eaux.

Les digues sont des constructions humaines dont la vocation principale est de faire obstacle à l'écoulement et de limiter les entrées d'eau sur la zone protégée [10].

b. Méthodologie

La méthodologie retenue au niveau national, définie par le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [10], comporte d'une part des hypothèses d'effacement des ouvrages de protection et d'autre part des hypothèses de brèches pour tous les ouvrages de protection identifiés.

Cette approche repose sur deux principes fondamentaux :

1. une zone protégée par une digue reste une zone inondable (circulaire du 30 avril 2002, relative à la politique de l'État en matière de *risques* naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines) ;
2. aucun ouvrage ne peut être considéré comme infaillible, quelles que soient ses caractéristiques.

Tous les ouvrages de protection sont conçus et réalisés pour protéger des *enjeux* contre un phénomène d'ampleur définie (crue décennale ou centennale par exemple). Des phénomènes plus intenses sont toujours possibles et le comportement des ouvrages ne peut alors pas être garanti : non seulement l'ouvrage peut s'avérer insuffisant, mais il peut subir des dommages – voire être détruit – et ainsi aggraver les effets du phénomène naturel. C'est notamment le cas pour les digues qui se rompent.

c. Effacement des ouvrages

L'hypothèse d'effacement des ouvrages correspond à leur suppression dans les données topographiques utilisées pour la modélisation de la submersion marine. La submersion marine est modélisée dans une situation théorique dans laquelle les digues existantes sont arasées à la cote du terrain naturel à l'arrière des ouvrages. Une cartographie informative est produite à partir de ces résultats.

d. Prise en compte de la formation de brèches

La démarche mise en œuvre est résumée par la figure 12. Cette démarche dépend de la disponibilité d'étude de danger relative aux ouvrages de protection.

Si une étude de danger définit le comportement de la digue pour l'évènement de référence, deux cas sont envisagés :

- si l'ouvrage peut résister au phénomène de référence, une brèche de 50 m est considérée dans le tronçon concerné ;
- si l'ouvrage ne résiste pas au phénomène de référence, au moins une brèche de 100 m est considérée pour le tronçon concerné.

En l'absence d'étude de danger, la *surverse* pour l'évènement de référence est évaluée. Si cette *surverse* est supérieure à 0,2 m, on prendra en compte une *ruine généralisée* de l'ouvrage ; dans le cas contraire, on prendra en compte une brèche de 100 m.

Ce choix s'explique par la forte probabilité de dégradation de l'ouvrage en cas de *surverse* significative (érosion et affouillement par la lame d'eau débordante).

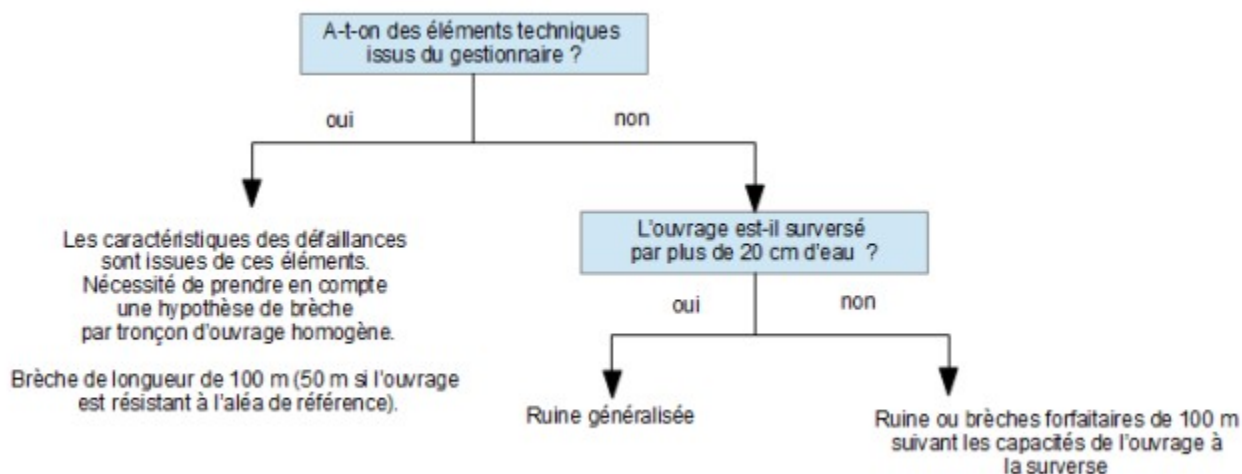


Figure 12 Définition des hypothèses de brèches pour les digues.

Au terme des études techniques spécifiques [4] et de la concertation avec les collectivités concernées, un ensemble d'hypothèses de brèches a été défini pour être intégré aux scénarios de référence. Les cartes localisant les brèches et les ouvrages concernés sont présentées sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados (www.calvados.gouv.fr); les indices alphanumériques utilisés ci-dessous font référence à ces cartes.

Ces hypothèses sont les suivantes :

- pour les digues littorales à Saint-Côme (La Guerre) (S1, S2), Asnelles (A2, A3), Ver-sur-Mer (V2), Courseulles (C1), et Bernières-sur-Mer (B2) :
 - ces brèches ont une largeur de 100 m, apparaissent instantanément 1 heure avant le pic de la tempête et persistent jusqu'à la fin de la tempête ;
 - la digue est écrêtée, et prend l'altitude du terrain naturel situé derrière la digue.

- pour les cordons dunaires de Meuvaines (V3), Ver-sur-Mer (V3), et Graye-sur-Mer (G5, G6) :
 - la largeur de ces brèches est définie sur la base des résultats de la modélisation spécifique [3] ;
 - Ces brèches se forment plus lentement au cours de la tempête. Une série temporelle de l'érosion de la dune est déterminée. Dès que la crête est submergée par le niveau marin, la dune rompt complètement sur la largeur définie.
- pour les digues fluviales de la Seulles
 - 2 brèches de 50 m de large sont définies sur la rive gauche de la Seulles (G1, G3). Elles apparaissent à partir d'une heure avant le pic de la tempête ;
 - les digues fluviales de premier rang qui sont submergées par une lame d'eau de plus de 0,20 m, rompent également dans le modèle (en raison des vitesses de courant trop élevées). Ces ruptures sont prises en compte par le modèle pour des lames d'eau déversantes supérieures à 0,20 m.

Ces hypothèses sont également retenues pour le scénario à échéance 100 ans. Du fait de la prise en compte du recul du trait de côte pour ce scénario (échéance 100 ans), certains cordons d'endiguement sont considérés comme inexistantes pour la modélisation à échéance 100 ans. Il s'agit des cordons d'endiguement suivant :

- cordon du marais de l'Edit ;
- cordon du marais de Graye-sur-Mer ;
- cordon du marais de Ver et Meuvaines.

e. Défaillance des ouvrages hydrauliques annexes

Divers aménagements hydrauliques (portes à flots, clapets anti-retour, vannes, etc.) équipent les ouvrages et les infrastructures de la zone d'étude. La modélisation nécessite de définir le fonctionnement de ces ouvrages pour les scénarios étudiés. Les hypothèses retenues sont récapitulées dans le tableau 11.

Tableau 11 Hypothèses de modélisation des ouvrages hydrauliques annexes.

Ouvrage hydraulique	Hypothèse de modélisation
Clapet anti-retour des émissaires des marais	Défaillants pour le scénario de référence +0,20 m
Vannes de régulation des niveaux d'eau des marais (points G2 et G4) ⁸	Défaillantes pour le scénario de référence
Barrage sur la Seulles (point C4)	Rupture 1 heure avant le pic de la tempête
Vannes au fond du port de Courseulles (point C5)	Rupture 1 heure avant le pic de la tempête

⁸ 8 Cartes des différents points sur le site : <http://www.calvados.gouv.fr/accedez-aux-plans-de-prevention-des-risques-du-r992.html>

Ouvrage hydraulique	Hypothèse de modélisation
Portes à flot des bassins du port de Courseulles (points C2 et C3)	considérées ouvertes (non conçues pour les grandes marées)

Les mêmes hypothèses sont retenues pour le scénario à échéance 100 ans.

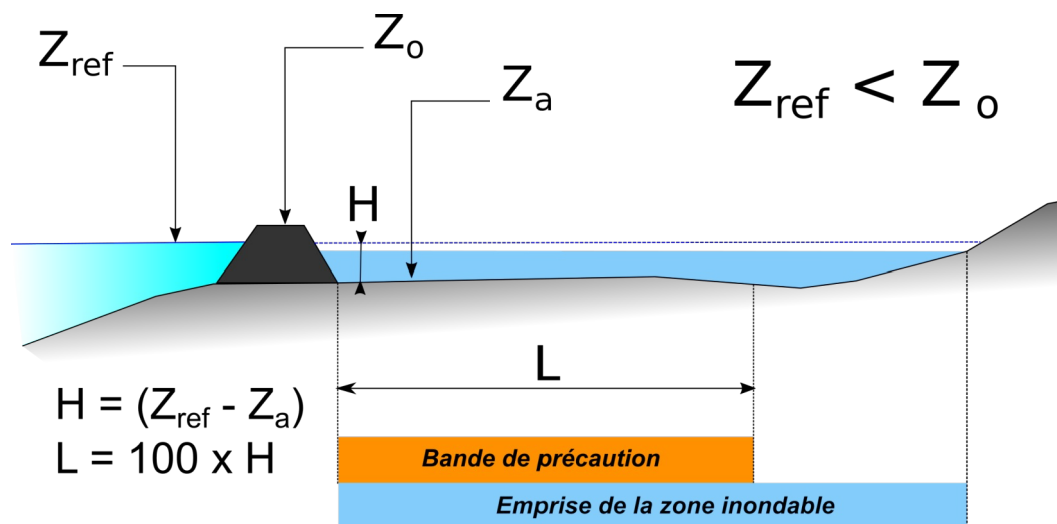
f. Bandes de précaution

Les brèches permettent d'apprécier les effets d'une défaillance en termes d'extension de la zone concernée par la submersion marine. La dynamique particulière (forte vitesse d'écoulement, forte hauteurs d'eau locales, entraînement de matériaux, etc.) des écoulements à hauteur des brèches ou des points de rupture d'un ouvrage de protection doit également être prise en compte.

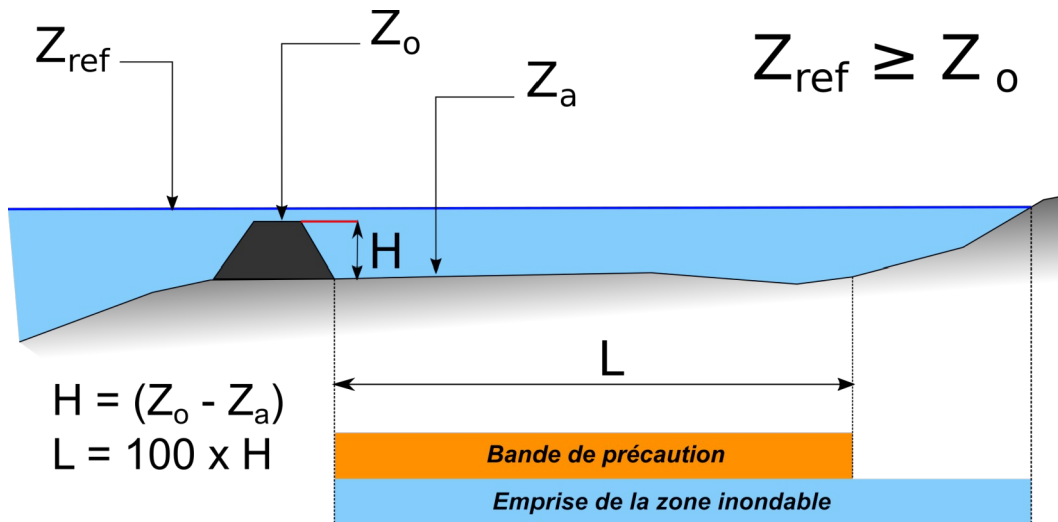
On détermine donc, à l'arrière des ouvrages de protection, des bandes réputées exposées aux effets de cette dynamique particulière. Ces bandes sont appelées bandes de précaution (BDP). La largeur des bandes de précaution est définie selon les directives nationales et les recommandations du guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [10]. Par définition, l'aléa est fort dans l'emprise des bandes de précaution.

La largeur de la bande de précaution est calculée selon les principes suivants :

- Si la cote de la crête de l'ouvrage (Z_o) est supérieure à la cote de référence (Z_{ref}), la largeur de la bande de précaution (L) est égale à 100 fois la hauteur H entre la cote de référence (Z_{ref}) et la cote à l'arrière de l'ouvrage (Z_a).

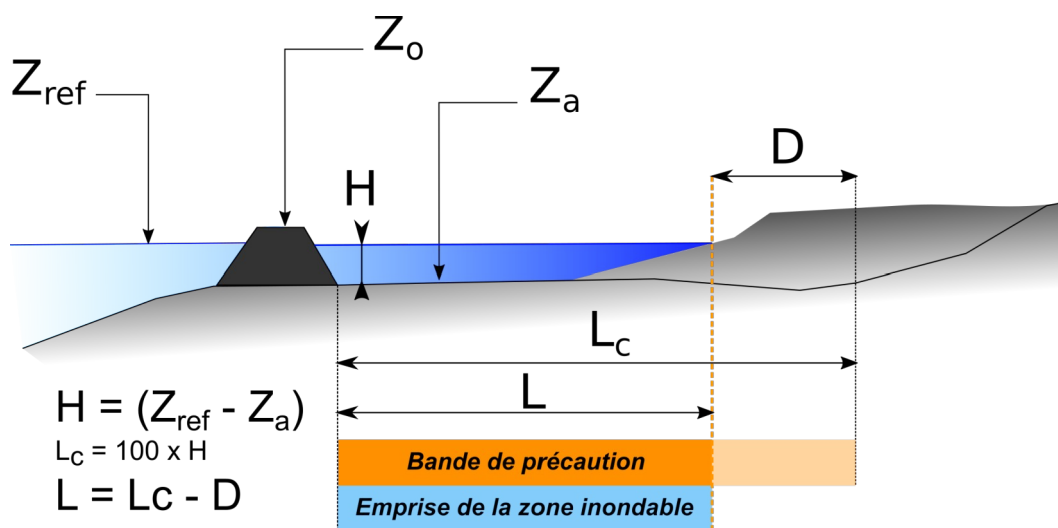


- Si la cote de la crête de l'ouvrage (Z_o) est inférieure à la cote de référence (Z_{ref}), la largeur de la bande de précaution (L) est égale à 100 fois la hauteur H entre la crête de l'ouvrage (Z_o) et la cote à l'arrière de l'ouvrage (Z_a).



Deux règles complémentaires sont prises en compte dans la détermination de la largeur des bandes de précaution :

- La largeur minimale de la bande de précaution est de 50 m, quelle que soit la largeur théorique calculée selon les principes généraux.
- La bande de précaution est limitée à la zone située sous la cote de référence, quelle que soit sa largeur théorique. La bande de précaution ne peut donc concerner des secteurs dont l'altitude est supérieure à la cote de référence.



- Compte-tenu de ces principes de détermination de la largeur de la bande de précaution, il est possible que les largeurs soient identiques pour des cotes de référence ou des cotes de crêtes d'ouvrages différentes.

– **Exemple :**

– Cas d'une digue dont la crête est située à 5,0 m ($Z_o = 5,0$) d'altitude qui protège une zone dont l'altitude est de 3,0 m ($Z_a = 3,0$) :

– Pour une cote de référence de 6,0 m ($Z_{ref} = 6,0$), la largeur de la bande de précaution sera de **200 m**.

$$L = 100 \times (5 - 3) = 200 \text{ m}$$

– Pour une cote de référence de 4,5 m ($Z_{ref} = 4,5$), la largeur de la bande de précaution sera de **150 m**.

$$L = 100 \times (4,5 - 3) = 150 \text{ m}$$

– Pour une cote de référence de 3,2 m ($Z_{ref} = 3,2$), la largeur de la bande de précaution sera de **50 m**.

$$L = 100 \times (3,2 - 3) = 20 \text{ m. Cette valeur est inférieure à 50 m, on retient donc 50 m}$$

Les caractéristiques des digues et les largeurs des bandes de précautions retenues pour le PPRL du Bessin sont récapitulées dans les tableaux 12 (scénario de référence) et 13 (scénario à échéance 100 ans).

Tableau 12 Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario de référence.

N°	Nom	Niveau marin	Cote arrière-pays	Crête d'ouvrage	Largeur BDP (m)
BSH3	Marais de l'Edit tronçon 1	4,90 m	3,55 m	> 6	135
	Marais de l'Edit tronçon 2	4,90 m	3,57 m	> 6	133
	Marais de l'Edit tronçon 3	4,90 m	4,17 m	> 6	73
BSH3	Digue de Courseulles (piscine)	4,90 m	4,06 m	> 5,8	84
	Seulles rive droite	4,68 m	3,71 m	5	97
	Seulles rive gauche, T1	4,68 m	3,52 m	4,5	98 *
	Seulles rive gauche T2	4,68 m	3,24 m	4,5	126 *
	Seulles rive gauche T3	4,68 m	3,31 m	4,5	119 *
BSH 4 – 5	Dune de Courseulles et Graye	4,93 m	3,96 m	5,5-6	96
BSH6	Digue de Ver-sur-Mer	4,91 m	4,50 m	5-5,5	50
BSH7	Dune marais de Ver	4,88 m	4,04 m	5,3-5,9	84
BSH8	Dune marais de Meuvaines	4,78 m	3,95 m	5,1-5,8	83
BSH9	Roseau plage Est	4,73 m	4,56 m	5	50
BSH9	Roseau plage	4,73 m	3,96 m	4,5-5	77

N°	Nom	Niveau marin	Cote arrière-pays	Crête d'ouvrage	Largeur BDP (m)
BSH9	Roseau plage dune	4,73 m	3,58 m	6-7	115
BSH10	Le Hamel Est	4,85 m	4,62 m	5,3	50
BSH10	Le Hamel centre	4,85 m	4,76 m	5,3-5,6	50
BSH11	La Guerre	4,70 m	4,29 m	4,5-6	50
Toutes les cotes sont exprimées dans le repère IGN69 (* Le niveau marin est supérieur à la cote de crête : cette dernière est retenue pour le calcul.					

Tableau 13 Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario à échéance 100 ans.

N°	Nom	Niveau marin	Cote arrière-pays	Crête d'ouvrage	Largeur BDP (m)
BSH3	Marais de l'Edit tronçon 1	5,30 m	3,55 m	>6	175
	Marais de l'Edit tronçon 2	5,30 m	3,57 m	>6	173
	Marais de l'Edit tronçon 3	5,30 m	4,17 m	>6	113
BSH3	Digue de Courseulles (piscine)	5,30 m	4,06 m	>5,8	124
	Seulles rive droite	5,08 m	3,71 m	5	137
	Seulles rive gauche, T1	5,08 m	3,52 m	4,5	98*
	Seulles rive gauche T2	5,08 m	3,24 m	4,5	126*
	Seulles rive gauche T3	5,08 m	3,31 m	4,5	119*
BSH 4 – 5	Dune de Courseulles et Graye	5,33 m	3,96 m	5,5 - 6	137
BSH6	Digue de Ver-sur-Mer	5,31 m	4,50 m	5 - 5,5	80
BSH7	Dune marais de Ver	5,28 m	4,04 m	5,3 - 5,9	124
BSH8	Dune marais de Meuvaines	5,18 m	3,95 m	5,1-5,8	123
BSH9	Roseau plage Est	5,13 m	4,56 m	5	50
BSH9	Roseau plage	5,13 m	3,96 m	4,5 - 5	104*
BSH9	Roseau plage dune	5,13 m	3,58 m	6 - 7	155
BSH10	Le Hamel Est	5,25 m	4,62 m	5,3	63
BSH10	Le Hamel centre	5,25m	4,76 m	5,3 - 5,6	50
BSH11	La Guerre	5,10 m	4,29 m	4,5 - 6	81
Toutes les cotes sont exprimées dans le repère IGN69 (* Le niveau marin est supérieur à la cote de crête : cette dernière est retenue pour le calcul.					

IV.3.2.6. Zones exposées aux chocs mécaniques

Les zones considérées comme exposées à des franchissements par paquets de mer, aux chocs des vagues ou à des projections (eau, galets, flottants, etc.) sont définies en fonction des informations relatives aux tempêtes passées [1] et aux résultats d'une modélisation spécifique [3], qui permet de déterminer un débit unitaire de

franchissement. Ce débit unitaire correspond au volume d'eau susceptible de franchir un dispositif de protection sur une largeur de 1 m chaque seconde ; il s'exprime en litre par mètre et par seconde (l/m/s).

La largeur de la bande exposée aux chocs mécaniques (BCM) est déterminée en fonction des phénomènes passés et des débits de franchissement calculés, selon les règles du guide EurOtop 2007 [5] résumées dans le tableau 14. L'aléa est fort dans toute l'emprise de la bande de *choc mécanique*.

Tableau 14 Détermination de la largeur des bandes de chocs mécaniques.

Historique pour ce phénomène	Débits de franchissement (Qf)			
	Non calculé	Qf ≤ 0,1 l/m/s	0,1 < Qf ≤ 50 l/m/s	Qf > 50 l/m/s
		franchissement négligeable	Qf faible, effet local	Qf important, effet généralisé
Oui	25 m	25 m	25 m	50 m
Non	Pas de BCM	Pas de BCM		

Les débits de franchissements estimés pour les ouvrages littoraux, dans les conditions de mer correspondant au scénario de référence, et les largeurs de la bande de *choc mécanique* sont récapitulés dans le tableau 15. Les débits sont calculés pour les valeurs maximales de niveau marin et de la houle.

Tableau 15 Caractéristiques de la bande de chocs mécaniques pour le scénario de référence.

Section	Localisation	Débit de franchissement Qf	Chocs mécaniques ?	Largeur BCM	Événements historiques
BSH1	Bernières-sur-Mer Cap Romain	<50 l/m/s	oui	25 m	Problématique d'érosion à long terme, liée à l'action de la houle
BSH2	Digue Duval	>50 l/m/s	oui	50 m	Multiples dégâts (parapets, escaliers, revêtements de la digue), 28/2/2010
BSH3	Bernières/Mer (zone Ouest) Courseulles/Mer (zone Est)	<50 l/m/s	oui	25 m	
BSH4 BSH5	Dune naturelle de Courseulles-sur-Mer et Graye-sur-Mer	Dune naturelle soumise à l'érosion en conditions extrêmes			
BSH6	Ver-sur-Mer zone Est	<25 l/m/s	oui	25 m	Franchissements par paquets de mer réguliers en condition tempétueuse
BSH7	Marais de Ver-sur-Mer	Dune naturelle soumise à l'érosion en conditions extrêmes			
BSH8	Marais de Meuvaines				

Section	Localisation	Débit de franchissement Qf	Chocs mécaniques ?	Largeur BCM	Événements historiques
BSH9	Asnelles zone Est	<50 l/m/s	oui	25 m	Franchissements par paquets de mer réguliers en condition tempétueuse
BSH10	Asnelles zone Ouest	>50 l/m/s	oui	50 m	Franchissements par paquets de mer réguliers en condition tempétueuse
BSH11	Saint-Côme – La Guerre	>50 l/m/s	oui	50 m	Franchissements par paquets de mer et submersion de l'enrochement
BSH12	Falaises de Saint-Côme et Arromanches	Voir analyse des falaises			
BSH13	Arromanches-les-Bains	<50 l/m/s	oui	25 m	Plusieurs dégâts aux maçonneries sont liés au passage de tempêtes (ex. 1961, 1972, 1978, 1988)
BSH14	Falaises de Tracy-sur-mer	Voir analyse des falaises			

Les débits de franchissements, dans les conditions de mer correspondant au scénario à échéance 100 ans et les largeurs de la bande de *choc mécanique* sont récapitulés dans le tableau 16.

Tableau 16 Définition de la bande de chocs mécaniques pour le scénario à échéance 100 ans.

Section	Localisation	Débit de franchissement Qf	Chocs mécaniques ?	Largeur BCM	Événements historiques
BSH1	Bernières-sur-Mer Cap Romain	>50 l/m/s	oui	50 m	Problématique d'érosion à long terme, liée à l'action de la houle
BSH2	Digue Duval	>50 l/m/s	oui	50 m	Multiples dégâts (parapets, escaliers, revêtements de la digue), 28/2/2010
BSH3	Bernières/Mer (zone Ouest) Courseulles/Mer (zone Est)	>50 l/m/s	oui	50 m	
BSH4 et 5	Dune naturelle de Courseulles-sur-Mer et Graye-sur-Mer	Dune naturelle soumise à l'érosion en conditions extrêmes			
BSH6	Ver-sur-Mer zone Est	>50 l/m/s	oui	50 m	Franchissements par paquets de mer réguliers en condition tempétueuse
BSH7	Marais de Ver-sur-Mer	Dune naturelle soumise à l'érosion en conditions extrêmes			

Section	Localisation	Débit de franchissement Qf	Chocs mécaniques ?	Largeur BCM	Événements historiques
BSH8	Marais de Meuvaines				
BSH9	Asnelles zone Est	>100 l/m/s	oui	50 m	Franchissements par paquets de mer réguliers en condition tempétueuse
BSH10	Asnelles zone Ouest	>50 l/m/s	oui	50 m	Franchissements par paquets de mer réguliers en condition tempétueuse
BSH11	Saint-Côme – La Guerre	>50 l/m/s	oui	50 m	Franchissements par paquets de mer/submersion de l'enrochement
BSH12	Falaises de Saint-Côme-de-Fresné et Arromanches-les-Bains	Voir analyse des falaises			
BSH13	Arromanches-les-Bains	<50 l/m/s	oui	25 m	Plusieurs dégâts aux maçonneries sont liés au passage de tempêtes (p. ex. 1961, 1972, 1978, 1988)
BSH14	Falaises de Tracy-sur-mer	Voir analyse des falaises			

IV.3.2.7. Qualification de l'aléa de submersion marine

À partir des résultats de la modélisation hydrodynamique, une cartographie de l'aléa a été établie et transcrite sur un fond cartographique cadastral à l'échelle 1/5 000. Cette cartographie distingue quatre classes d'aléa établies selon des critères de hauteur d'eau et de vitesses d'écoulement dans la zone submergée (fig. 13).

Aléa submersion marine		Vitesse de l'écoulement		
		V < 0,2 m/s	0,2 < V < 0,5 m/s	V > 0,5 m/s
Hauteur d'eau	H < 0,5 m	Faible	Moyen	Fort
	0,5 < H < 1 m	Moyen	Moyen	Fort
	H > 1 m	Fort	Fort	Très fort

Figure 13 Définition de l'aléa de submersion marine.

La description détaillée des zones exposées à l'aléa de submersion marine a fait l'objet d'un rapport spécifique [3] qui présente les résultats pour tous les scénarios étudiés. Les éléments relatifs au scénario de référence et au scénario à échéance de 100 ans sont

résumés dans les chapitres suivants et les cartes d'aléas correspondantes sont consultables sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados à l'adresse suivante :

<http://www.calvados.gouv.fr/accedez-aux-plans-de-prevention-des-risques-du-r992.html>

a. L'aléa pour le scénario de référence

L'aléa de submersion marine pour le scénario de référence impacte surtout les communes d'Asnelles, Meuvaines, Ver-sur-Mer, Graye-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer et Bernières-sur-Mer.

Les submersions dans la commune de Bernières-sur-Mer sont principalement causées par le débit de franchissement imposé sur la digue de Bernières-sur-Mer. La commune est fortement impactée et l'aléa est fort ou localement très fort.

Le débit de franchissement contribue aussi fortement aux submersions dans l'Est de la commune de Courseulles-sur-Mer. Le débit à Bernières-sur-Mer et la rupture de la digue à Courseulles-sur-Mer causent une submersion étendue. Dans la commune de Bernières-sur-Mer, la zone impactée est comparable aux zones situées au-dessous du niveau marin de référence identifiées sur les cartes ZNM 2013. A Courseulles-sur-Mer, les zones impactées sont un peu plus petites que les zones situées au-dessous du niveau marin de référence (ZNM 2013). L'aléa y est plutôt moyen.

Le long de la vallée de la Seulles, on observe également une submersion. Les débordements observés sont contenus dans la zone naturelle, sans impacter les enjeux situés à proximité. L'impact de la brèche du cordon dunaire de Graye-sur-Mer est principalement limité à la zone naturelle des marais. Les zones impactées coïncident avec les zones situées en dessous du niveau marin de référence des cartes ZNM 2013. L'aléa y est moyen à fort.

La commune de Ver-sur-Mer est fortement impactée par des submersions qui sont principalement causées par le débit de franchissement imposé sur la digue de Ver-sur-Mer. L'enveloppe de submersion autour de la brèche s'étend sur environ 200 m à Ver-sur-Mer. Ceci correspond aux zones situées moins d'un mètre au-dessus du niveau marin de référence identifiées par les cartes ZNM 2013. L'aléa y est moyen à fort.

L'impact de la brèche du cordon dunaire de Meuvaines est principalement limité à la zone naturelle des marais et s'étend sur environ 500 m à l'intérieur des terres.

La commune d'Asnelles est fortement impactée par les submersions causées par les débits de franchissement par paquets de mer. Les deux ruptures des digues littorales contribuent moins aux submersions. La zone basse du centre d'Asnelles est fortement impactée. Dans la partie orientale de la commune, les enveloppes de submersion dépassent les zones situées en dessous du niveau marin de référence identifiées par les cartes ZNM 2013. Cette différence est causée par l'effet des débits des franchissements par paquets de mer, qui peuvent impacter des zones situées au-dessus du niveau marin (comme cela a été observé notamment pendant la tempête Xynthia). L'aléa y est très fort.

Les submersions dans la commune de Saint-Côme-de-Fresné sont principalement causées par le débit de franchissement imposé sur la digue d'Asnelles. L'effet des brèches à Saint-Côme-de-Fresné est limité comparativement à l'effet du débit de franchissement par paquet de mer. Comme à Asnelles, les enveloppes de submersion correspondent plutôt aux zones situées moins d'un mètre au-dessus du niveau marin de référence des cartes ZNM 2013. L'aléa y est plutôt fort.

Les communes d'Arromanche-les-Bains et de Tracy-sur-Mer, qui n'ont pas de zones au-dessous du niveau marin de référence, sont faiblement impactées par les submersions. En quelques points, des franchissements se produisent, mais avec un impact local.

b. L'aléa pour le scénario à échéance 100 ans

Les cartes de l'aléa sont consultables sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados à l'adresse suivante :

<http://www.calvados.gouv.fr/accedez-aux-plans-de-prevention-des-risques-du-r992.html>

L'aléa de submersion pour le scénario à échéance 100 ans impacte surtout les communes d'Asnelles, Meuvaines, Ver-sur-Mer, Graye-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer et Bernières-sur-Mer.

La commune de Bernières-sur-Mer est fortement impactée par les submersions. L'enveloppe de submersion est un peu plus grande que celle du scénario de référence. L'aléa y est plutôt fort.

Les résultats pour l'Est de la commune de Courseulles-sur-Mer sont similaires à ceux de Bernières-sur-Mer. La partie de la commune de Courseulles-sur-Mer à l'Ouest du port est presque totalement submergée à cause du niveau marin élevé. Ce niveau marin induit également des enveloppes de submersion plus étendues dans la vallée de la Seulles que pour le scénario de référence ; ces débordements calculés restent toutefois contenus dans la zone naturelle. L'aléa dans les zones urbaines de Courseulles-sur-Mer est moyen à fort.

L'impact de la brèche du cordon dunaire de Graye-sur-Mer est principalement limité à la zone naturelle des marais. Les zones impactées coïncident avec les zones situées moins d'un mètre au-dessus du niveau marin de référence.

Pour les autres communes (Asnelles, Saint-Côme-de-Fresné, Arromanches-les-Bains, Tracy-sur-Mer et Ver-sur-Mer) l'emprise de l'aléa de submersion marine est un peu plus grande que celle modélisée pour le scénario de référence.

IV.4. L'érosion côtière

IV.4.1. La migration dunaire et l'érosion des côtes sableuses

Deux aspects de ce phénomène sont pris en compte pour l'élaboration du PPRL : l'érosion à moyen et long terme et les reculs instantanés durant les tempêtes. Ces manifestations de l'érosion côtière sont analysées selon des méthodologies spécifiques et aboutissent à une qualification de l'aléa d'érosion.

IV.4.1.1. Contexte morphologique

« Les dunes du Calvados prennent souvent la forme d'un cordon dunaire très bas et dégradé qui ne remplit plus son rôle régulateur et protecteur » [12]. Actuellement, le littoral du Calvados ne possède pas de grands ensembles dunaires en raison d'une forte pression anthropique, notamment la forte urbanisation depuis le XIX^e siècle, mais surtout depuis les années 1960.

« Le XIX^e siècle marque une étape importante dans l'évolution des systèmes dunaires calvadosiens » [11], au motif que les premières stations balnéaires et infrastructures associées ont été construites. « Les dunes littorales du Calvados ont connu une occupation mesurée et des aménagements légers au départ, puis une accélération assez nette après la Seconde Guerre mondiale et surtout après les années 1960 (« l'ère du béton »), une accélération qui trouve ses origines dans le développement de la société de consommation et le bond en avant du tourisme » [11].

La dégradation contemporaine des dunes a conduit à l'intervention du Conservatoire du Littoral et du Conseil Départemental du Calvados depuis 1975. Cette intervention a permis la préservation de quelques morceaux de cordons dunaires sur le secteur du Bessin, dont les plus importants sont situés à proximité de l'estuaire de la Seulles (dune naturelle de Courseulles-sur-Mer et dune de Graye-sur-Mer) où un cordon dunaire est bien présent.

À l'Ouest, dans la commune de Ver-sur-Mer, le cordon dunaire est plus étroit et dégradé. Les dunes, entre Bernières-sur-Mer et Ver-sur-Mer, isolent derrière elles des ensembles naturels et, en particulier, des marais littoraux. « Ces marais littoraux larges de 500 à 700 m s'étirent plus particulièrement entre Asnelles et Meuvaines » [11]. À l'intérieur, une bande bocagère d'herbages et de labours s'étendent au pied d'un talus.

Depuis la Seconde Guerre mondiale, le massif dunaire du secteur Bessin a reculé de 20 à 30 m suivant les secteurs. Cette érosion est en grande partie attribuable à des causes naturelles, puisque le contexte hydrosédimentaire a été défavorable et que les courants longitudinaux (de direction Ouest – Est) sont très forts. D'autres facteurs sont liés au port artificiel d'Arromanches (port Winston Churchill) qui a modifié les courants et les dépôts, l'enlèvement de sable et la vulnérabilité intrinsèque des dunes (vulnérabilité aux événements climatiques exceptionnels et à la pression touristique croissante : passage non contrôlé de véhicules, piétinement, etc.).

Des ouvrages de défense côtière tels que les enrochements, les palissades et les épis en enrochement ont été réalisés depuis les années 1950 – 1960 pour faire face à ces reculs. À partir de 2005, les ouvrages de défense côtière mal entretenus ont été remplacés. « Malgré les épis de

dernière génération, des secteurs sont encore très sensibles notamment celui situé au droit du camping à Graye-sur-Mer et celui de part et d'autre du Hable de Heurtot (limite communale entre Ver-sur-Mer et Meuvaines) » [12].

Le cordon dunaire dans le secteur Bessin est très étroit et dégradé entre Ver-sur-Mer et Meuvaines. Il est plus large mais par endroit déstructuré par de larges couloirs de déflation à Graye-sur-Mer : « *Les aires de stationnement en dur sont assez limitées, la fréquentation se concentre sur le mince cordon dunaire, car les marais situés juste en arrière sont peu pénétrables (roselières, parcelles agricoles privées, humidité) » [11].*

Un piétinement intensif et l'augmentation de la fréquentation des lieux associés au développement de pratiques de loisir mal adaptées (véhicules dans les dunes, plagistes dégradant la dune blanche, etc.) ont dégradé le système dunaire et appauvri sa végétation, conduisant par endroit à la disparition de toute végétation.

IV.4.1.2. Caractérisation de l'aléa de migration dunaire

Une analyse globale, menée à partir des orthophotoplans de 1947, 1966, 1992 et 2009 [3] a montré que l'urbanisation s'accroît sur le front de mer au détriment du cordon dunaire.

Du fait de l'érosion et des interférences humaines, les dunes du secteur de Bessin sont caractérisées par une densité importante d'ouvrages de protection. Aucun indice de migration dunaire n'a été identifié et l'aléa de migration dunaire est donc considéré comme négligeable sur la zone d'étude.

IV.4.1.3. L'érosion moyenne à long terme

Indépendamment des migrations dunaires, les côtes sableuses évoluent sous l'effet des courants et des tempêtes. La dynamique locale des côtes sableuses a été étudiée selon deux approches complémentaires :

- une analyse diachronique du trait de côte, réalisée à partir d'orthophotographies et des traits de côte historiques fournis par le Centre de Recherches en Environnement Côtier (CREC) [3] ;
- une modélisation⁹ morphodynamique d'évolution du trait de côte [3].

L'aléa de recul du trait de côte à moyen et long terme a été caractérisé et qualifié à partir des éléments issus de ces deux approches.

9 Modèle Litpack

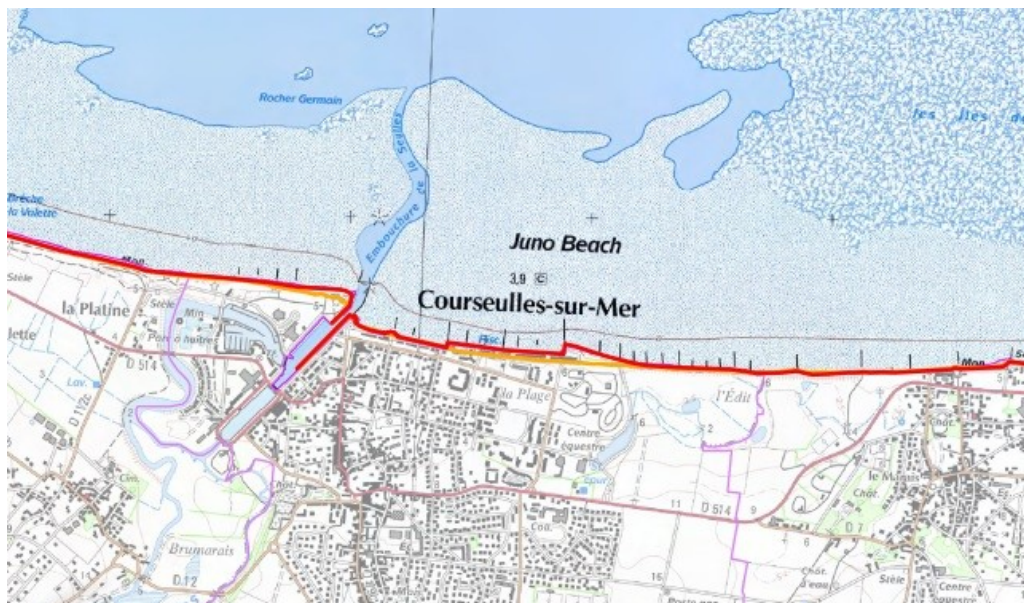


Figure 14 Exemple de restitution de l'analyse diachronique 1947 – 2009.
(trait de côte 1947 en orange, trait de côte 2009 en rouge)

Les principaux résultats, obtenus par tronçons homogènes de la côte dans la zone d'étude, sont résumés dans le tableau 17.

Tableau 17 Érosion moyenne à long terme des côtes basses et meubles.

Section	Localisation	Lit-pack	Étude diachronique			Synthèse	Remarque
			1966-2009	1992-2009	TC CREC		
BSH1	Bernières-sur-Mer zone Est	E	A	-	A	cf. érosion falaises	
BSH2	Digue Duval	E	S	-	S	Érosion / Stabilité	Tendance à l'érosion, malgré une digue fixant la côte
BSH3	Bernières-sur-Mer zone Ouest et Courseulles-sur-Mer zone Est	S	A	S	A	Stable	
BSH4 et 5	Dune naturelle de Courseulles/Mer et Graye/Mer	A	-	-	-	Stable	
	Dune protégée de Graye/M.	E	-	-	-	Érosion	
BSH6	Ver-sur-Mer zone Est	E	A	S	S	Érosion	
BSH7	Marais de Ver-sur-Mer	E	E	-	E	Érosion	
BSH8	Marais de Meuvaines	E	E	-	E	Érosion	
BSH9	Asnelles zone Est	A	A	S	S	Stable	Enrochement fixant la côte avancée par rapport aux cordons naturels

Section	Localisation	Lit-pack	Étude diachronique			Synthèse	Remarque
			1966-2009	1992-2009	TC CREC		
BSH10	Asnelles zone Ouest	(A)	S	-	S	Stable	Digue fixant la côte
BSH11	Saint-Côme – La Guerre	(A)	S	-	E	Érosion	Valeur de l'analyse CREC retenue
BSH12	Falaises de Saint-Côme et Arromanches	(E)	E	-	E	cf. érosion falaises	
BSH13	Arromanches-les-Bains	(E)	-	-	S	Stable	Valeur de l'analyse CREC retenue
BSH14	Falaises de Tracy-sur-mer	(A)	E	-	E	cf. érosion falaises	
E côte en érosion, ; S côte stable, A côte en accrétion (A ou E) valeurs issues du modèle Litpack non retenues du fait de l'influence du port W. Churchill, non modélisé.							

Les taux d'érosion estimés à partir des résultats de la modélisation morphodynamique sont résumés dans le tableau 18. Une cartographie de l'évolution du trait de côte a été établie (fig. 15).

Tableau 18 Estimation du taux de recul annuel moyen par modélisation.

Section	Localisation	Taux d'érosion annuel Tx [m/an]
BSH3	Bernières-Courseulles : Marais de l'Edit	0
BSH4	Dune de Courseulles-sur-Mer et Graye-sur-Mer	0
BSH5	Dune de Graye-sur-Mer	-0.2
BSH7	Marais de Ver-sur-Mer	-0.17
BSH8	Marais de Meuvaines	-0.39
BSH9	Asnelles zone Est	0
BSH11	Saint-Côme – La Guerre	-0.12



Figure 15 Exemple d'analyse de l'évolution du trait de côte à partir des résultats de la modélisation. Comparaison des traits de côte actuel (trait noir) et à échéance 10 ans (pointillé rouge) et 50 ans (trait bleu).

Du point de vue morphologique, la zone comprise entre le port de Courseulles et l'émissaire de la Maison Pearson se comporte différemment de la zone à l'Ouest de l'émissaire jusqu'à Ver-sur-Mer (fig. 15). Le blocage du transit sédimentaire (direction nette vers l'Est) par la jetée portuaire de Courseulles crée une zone en accrétion à l'Ouest immédiat du port. Le modèle montre que cette tendance à l'accrétion s'étendra vers l'Est jusqu'à l'émissaire de la Maison Pearson. À partir d'ici et jusqu'à Ver-sur-Mer, la dune, lorsqu'elle est présente, se trouve en érosion. Plusieurs éléments morphologiques confirment cette différence entre les deux zones :

- la dune de Courseulles est plus développée que celle à Graye-sur-Mer (hauteur, largeur, végétation) ;
- l'orientation du trait de côte change à l'Ouest immédiat du port de Courseulles, indiquant une zone d'accrétion ;
- plus d'ouvrages de protection contre l'érosion sont présents sur la zone en érosion (enrochements, revêtement en bois du front dunaire), ce qui indique une plus forte *vulnérabilité* ;
- le blockhaus de la Brèche le Bisson se trouve aujourd'hui sur la plage, alors que celui de Courseulles se trouve toujours sur la dune.

IV.4.1.4. L'érosion ponctuelle

L'érosion ponctuelle pouvant être potentiellement causée par l'événement de référence est déterminée par modélisation [3]. Le modèle utilisé ne prend pas en compte l'effet des ouvrages de protection, mais permet de déterminer la position de la côte si aucun ouvrage n'était présent.

Pour chaque section homogène, le recul est calculé en plusieurs points¹⁰ et pour deux scénarios (conditions de période de retour centennale avec un régime d'Ouest et avec un régime de Nord). Pour chacun de ces points, on retient le recul maximal obtenu. On calcule ensuite la moyenne des valeurs retenues pour chaque section homogène. C'est cette valeur moyenne qui est prise en compte pour la qualification de l'aléa d'érosion.

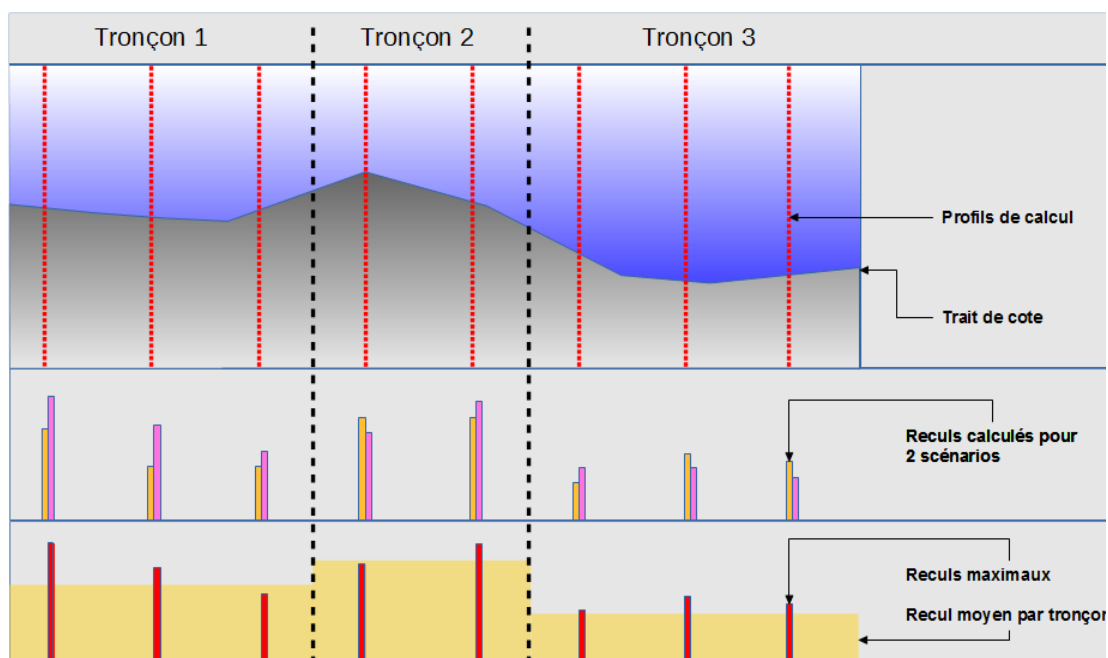


Figure 16 Principe d'estimation du recul moyen par section homogène.

Le tableau 19 récapitule, par section homogène, les valeurs du recul maximal ponctuel et la moyenne des valeurs de recul retenu (recul moyen).

Tableau 19 Érosion ponctuelle et érosion moyenne pour l'événement de référence.

Section	Localisation	Érosion ponctuelle maximale	Recul moyen par section homogène
BSH1	Bernières-sur-Mer zone Est	falaises	
BSH2	Digue Duval	11,0 m	2,0 m
BSH3	Bernières/Mer Ouest et Courseulles/Mer Est	18,0 m	3,0 m
BSH4	Dune de Courseulles-sur-Mer et Graye-sur-Mer	3,0 m	0,0 m
BSH5	Dune de Graye-sur-Mer	9,0 m	3,0 m
BSH6	Ver-sur-Mer zone Est	16,0 m	10,0 m
BSH7	Marais de Ver-sur-Mer	8,0 m	4,0 m

¹⁰ Les calculs sont réalisés sur des profils topographiques perpendiculaires au trait de côte.

Section	Localisation	Érosion ponctuelle maximale	Recul moyen par section homogène
BSH8	Marais de Meuvaines	27,0 m	10,0 m
BSH9	Asnelles zone Est	61,0 m	38,0 m
BSH10	Asnelles zone Ouest		
BSH11	Saint-Côme – La Guerre	68,0 m	24,0 m
BSH12	Falaises de Saint-Côme et Arromanches	falaises	
BSH13	Arromanches-les-Bains	56,0 m	32,0 m
BSH14	Falaises de Tracy-sur-mer	falaises	

IV.4.1.5. Qualification de l'aléa d'érosion pour les côtes sableuses

Les cartes de l'aléa sont consultables sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados à l'adresse suivante :

<http://www.calvados.gouv.fr/accedez-aux-plans-de-prevention-des-risques-du-r992.html>

Le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [10] propose d'estimer la largeur de la zone exposée selon la règle suivante :

$$L = T \times T_x + L_{\max}$$

L : largeur totale de la zone exposée

T : période de référence T de 100 ans

T_x : taux annuel moyen de recul du trait de côte

L_{max} : largeur maximale affectée par un phénomène ponctuel de grande ampleur

Les valeurs du taux de recul annuel moyen (T_x) et la largeur maximale sont définies à partir des données relatives à l'érosion moyenne à long terme et de l'érosion ponctuelle établies selon les méthodes exposées ci-dessus et récapitulées dans les tableaux 20 et 21.

La cartographie de l'aléa d'érosion des côtes sableuses est établie à partir des reculs totaux à échéance 100 ans récapitulés dans le tableau 20. Ces reculs correspondent à la somme du recul moyen sur 100 ans (taux d'érosion annuel moyen x 100) et du recul ponctuel.

Tableau 20 Estimation du recul à échéance de 100 ans.

Section	Localisation	Taux d'érosion annuel Tx [m/an]	Recul ponctuel Lmax [m]	Recul total à échéance 100 ans [m]
BSH3	Bernières-Courseulles : Marais de l'Edit	0	-3	-3
BSH4	Dune de Courseulles-sur-Mer et Graye-sur-Mer	0	-1	-1
BSH5	Dune de Graye-sur-Mer	-0.2	-4	-24
BSH7	Marais de Ver-sur-Mer	-0.17	-4	-21
BSH8	Marais de Meuvaines	-0.39	-5	-44
BSH9	Asnelles zone Est	0	-10	-10
BSH11	Saint-Côme – La Guerre	-0.12	-24	-36

Tableau 21 Synthèse des taux annuels moyens de recul de la falaise.

Taux annuel moyen (Tx)	Sources
0,22 m/an	Bibliographie [5]
0,12 m/an	Bibliographie Maquaire et al., 1987 []
0,14 m/an	Analyse diachronique 1966 / 2009 [3]

L'intensité probable du phénomène de référence est toujours forte : ces phénomènes impliquent une destruction ou une destructuration complète des terrains affectés et donc une destruction totale ou un endommagement sévère de toutes les constructions ou infrastructures concernées.

L'aléa est donc considéré comme fort dans la totalité de l'emprise identifiée comme exposée au recul du trait de côte.

IV.4.2. L'érosion des falaises

Dans le cadre du PPRL, l'objectif est d'identifier les zones exposées du fait des mouvements de terrain susceptibles d'affecter les zones surmontant la falaise. L'emprise des zones exposées dépend de la période de référence considérée (et non de la période de retour au sens strict) et des phénomènes de référence qui sont retenus.

Ce chapitre présente la méthode et la cartographie de l'aléa lié au recul des falaises de la zone d'étude. Cet aléa est indépendant de l'aléa de submersion et, si les tempêtes ont une influence sur l'évolution des falaises, il n'existe pas de lien systématique de cause à effet entre tempêtes et recul des falaises, contrairement à ce qui se produit pour le recul et le franchissement des côtes sableuses.

Cet *aléa* est fortement lié aux caractéristiques mécaniques des terrains qui forment les falaises et à la dynamique des mouvements de terrain qui les affectent (glissements, éboulements, etc.). Il intègre une évolution à moyen et long terme et une évolution instantanée, qui sont analysées par des méthodes différentes.

IV.4.2.1. Contexte géographique et géologique

Le littoral du Bessin est caractérisé par des zones de falaises qui succèdent aux cotes basses qui s'étendent de Bernières-sur-Mer à Saint-Côme-de-Fresné.

Les falaises s'élèvent progressivement à l'Ouest de Saint-Côme-de-Fresné pour s'abaisser à hauteur d'Arromanches-les-Bains avant de s'élever à nouveau pour atteindre plusieurs dizaines de mètres de hauteur à Tracy-sur-Mer. La zone de falaise se prolonge vers l'Ouest en direction de Port-en-Bessin.

La carte géologique (Morizot et al., 2000) montre que les falaises sont constituées par les formations du Bathonien, qui forme ici un ensemble complexe comportant une superposition des marnes et des calcaires. Ces formations sont largement recouvertes de formations superficielles.

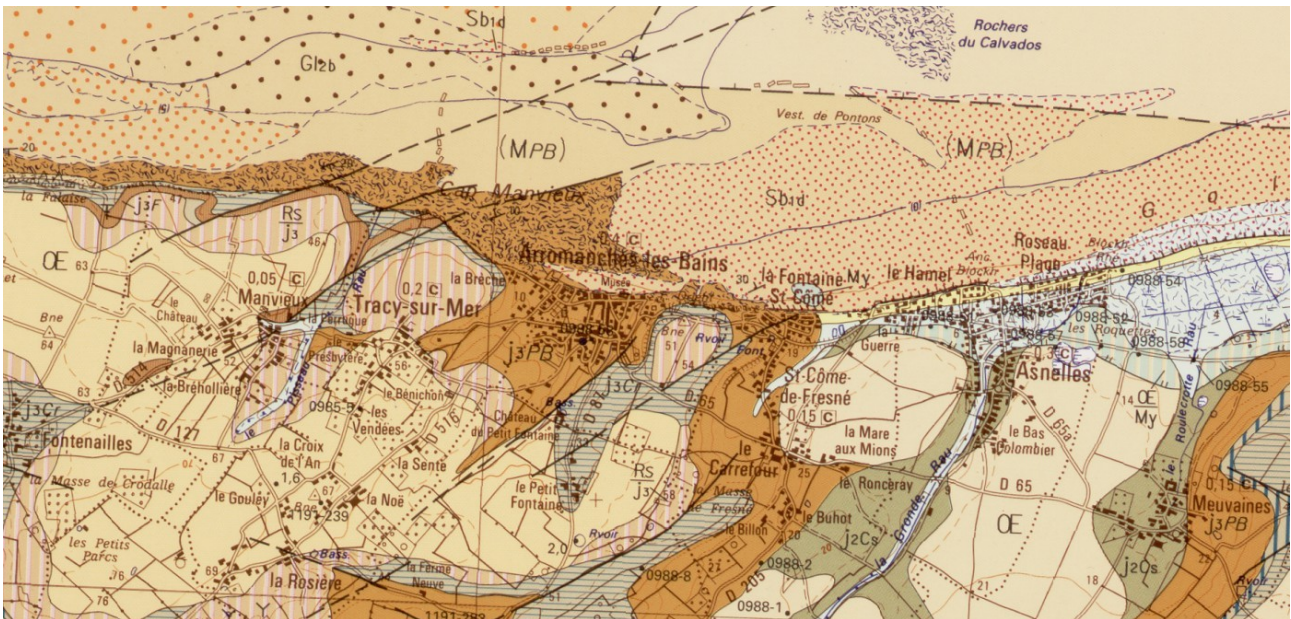


Figure 17 Extrait de la carte géologique de la zone de falaise (source BRGM).

Un ensemble de failles d'orientation Ouest – Sud-Ouest – Est – Nord-Est affecte ces formations. Ces failles sont donc obliques par rapport à la côte qui est ici Est – Ouest.

Le platier et la base des falaises sont formés par les marnes dites « marnes de Port ». Il s'agit d'une formation, rattachée au Bathonien inférieur, constituée d'argiles et de marnes sombres compactes. Quelques bancs décimétriques de calcaires argileux sont intercalés dans les marnes.

Les marnes de Port sont surmontées par une formation calcaire dite « calcaires de Creully » ou « calcaires de Saint-Pierre-du-Mont ». Il s'agit de calcaires assez grossiers, caractérisés par des litages obliques et des niveaux à silex. Les faciès varient localement et

ils comportent notamment des niveaux plus argileux dans le secteur de Tracy-sur-Mer. Ces variations n'ont toutefois pas d'influence mesurable sur les mouvements de terrain qui affectent ces falaises.

IV.4.2.2. Évolution des falaise et mouvements de terrain

Les falaises côtières sont soumises à une érosion qui se traduit par divers phénomènes naturels qui se combinent dans l'espace et dans le temps.

Dans le Bessin, ces phénomènes se manifestent par un recul progressif des falaises mais aussi par des mouvements de terrain localisés (chutes de blocs et glissement de terrain) pouvant affecter de grandes zones et se traduire par un recul très important proportionnellement à la hauteur des falaises.

a. Recul diffus généralisé

Ce phénomène est perceptible (fig. 18) si on considère des périodes suffisamment longues (plusieurs décennies ou plusieurs siècles) et il peut être quantifié par un taux de recul annuel moyen.



Figure 18 Vue aérienne de la falaise (secteur Arromanches-les-Bains/Saint Côme de Fresné) montrant de nombreux indices de glissements dans la partie aval. Les flèches rouges localisent certains de ces indices.

Cette approche ne doit évidemment pas occulter le fait que les reculs ponctuels instantanés peuvent être très supérieurs au taux annuel moyen. De plus, les données disponibles ne portent que sur des périodes relativement courtes (quelques années à quelques dizaines d'années) qui ne sont pas représentatives des phénomènes qui se développent sur des périodes sensiblement plus longues (plusieurs millénaires).

Le taux annuel moyen peut être estimé à partir d'analyse diachronique des photographies aériennes si la précision est suffisante ou à partir de compilation de données historiques disponibles.

La bibliographie propose des taux annuels moyens de 0,22 m/an (de 0,15 m/an à 0,29 m/an) pour des sites situés sur les falaises crayeuses de Haute-Normandie [6]. Les études réalisées après le glissement du Bouffay [7] [8] estime le recul à 20 m sur la période 1809 – 1975 dans le secteur du Bouffay, soit un taux de recul annuel moyen de 0,12 m/an.

Les traits de côtes (fig. 19) établis dans le cadre des études préliminaires du PPRL [3] à partir des données disponibles (orthohoplans 1966 et 2009, topographie LIDAR) montrent que, sur la zone étudiée, le recul moyen est de 0,14 m/an (estimation selon la méthode des aires).

Cette valeur moyenne recouvre toutefois des variations très marquées selon les secteurs : les reculs par zone varient de 1 m à 24 m pour une période de référence de 43 ans soit des taux annuels compris entre 0,02 m/an et 0,55 m/an.



Figure 19 Localisation de la tête de falaise d'après les orthophotoplans 2009 (rose) et 1966 (jaune).

Zone Ouest en haut et Est en bas.

Pour tenir compte des multiples incertitudes dans l'identification du trait de côte (qui correspond ici à la tête de falaise), et de la fréquence empirique des retraits observés nous retiendrons un taux de recul annuel moyen (Tx) de **0,20 m/an**, soit un recul de 20 m pour la période de référence de 100 ans.

La position probable de la tête de falaise à échéance de 100 ans selon cette hypothèse est représentée sur les figures 20 et 21.



Figure 20 Position probable du trait de côte à échéance de 100 ans (tirets orange). Zone Ouest.



Figure 21 Position probable du trait de côte à échéance de 100 ans (tirets orange). Zone Est.

b. Recul ponctuel

Lorsque la zone de départ d'un mouvement de terrain (glissement de terrain ou chutes de pierres ou de blocs) se situe en tête de falaise, le phénomène peut induire un recul ponctuel significatif de la falaise. Ces reculs ponctuels peuvent affecter des zones dont la largeur est généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

Il s'agit donc de phénomènes instantanés, qui sont intégrés dans le recul généralisé diffus, mais qui peuvent correspondre à un recul équivalent à plusieurs décennies de recul annuel moyen.

c. Mouvements de grande ampleur

Des mouvements de terrain de grande ampleur sont également possibles. Il peut s'agir de mouvements rocheux dont la dynamique relève soit des écroulements en masse (plusieurs dizaines à plusieurs millions de mètres cubes) soit des glissements de terrains.

Dans la zone étudiée, le contexte géologique et morphologique favorise le développement de glissements de terrain présentant une dynamique spécifique. Ces glissements complexes de grande ampleur, qui mobilisent des volumes très importants, affectent des zones très larges proportionnellement à la hauteur de la falaise.

Ces mouvements ne provoquent pas nécessairement un recul du trait de cote au sens strict, mais seulement un recul (voire la disparition) de la tête de falaise. En effet, les terrains affectés sont très déformés et abaissés relativement à la tête de falaise. Ils forment un versant qui descend progressivement vers la mer et qui peut avancer par rapport au trait de côte initial.

Le glissement du Bouffay, situé à quelques kilomètres à l'Ouest de Tracy-sur-Mer, dans un contexte géologique similaire, est caractéristique de ce type de phénomène.

Pour évaluer l'emprise maximale des mouvements de grande ampleur, l'exploitation des investigations géophysiques réalisées en 1987 [8] a été privilégiée pour évaluer la largeur des terrains calcaires décompressés, c'est-à-dire partiellement déstructurés du fait des mouvements qui se produisent au toit des marnes sous-jacentes.

Ces investigations ont permis d'établir une relation reliant la hauteur de l'escarpement calcaire et la largeur de la zone décompressée, potentiellement instable. La relation proposée est la suivante :

$$L = 0,8 \times Hc^{1,6}$$

L : largeur totale de la zone décompressée

Hc : hauteur de l'escarpement calcaire

La hauteur de l'escarpement a été évaluée par différence entre la cote du sommet de falaise et la cote du toit des marnes de Port. Cette approche est autorisée par la relative régularité des structures géologiques (formations sub-horizontales à proximité immédiate de la côte).

L'application de cette relation a permis d'établir l'emprise de la zone potentiellement exposée à un mouvement de grande ampleur.

IV.4.2.3. Qualification de l'aléa induit par le recul des falaises

Les cartes de l'aléa sont consultables sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados à l'adresse suivante :

<http://www.calvados.gouv.fr/accedez-aux-plans-de-prevention-des-risques-du-r992.html>

Le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [10] propose d'estimer la largeur de la zone exposée selon la même règle que pour l'érosion des côtes sableuses :

$$L = T \times Tx + L_{\max}$$

L : largeur totale de la zone exposée

T : période de référence T de 100 ans

Tx : taux annuel moyen de recul de la falaise

Lmax : largeur maximale affectée par un phénomène ponctuel de grande ampleur

Les valeurs du taux de recul annuel moyen (Tx) et la largeur maximale affectée par un phénomène ponctuel de grande ampleur prises en compte sont celles établies selon les méthodes exposées précédemment.

L'intensité probable du phénomène de référence est toujours forte : ces phénomènes impliquent une destruction ou une destruction complète des terrains affectés et donc une destruction totale ou un endommagement sévère de toutes les constructions ou infrastructures concernées.

Remarque.

Les zones de propagation qui s'étendent en contrebas de la falaise ne font pas ici l'objet d'une analyse spécifique : il s'agit par définition de zones maritimes submergées en permanence et/ou directement exposées aux effets des tempêtes. Ces zones sont identifiées à titre indicatif.

V. Les enjeux

La politique de prévention des *risques* naturels vise notamment à limiter l'extension des zones à *risques* et à réduire les *risques* dans les zones actuellement exposées. Pour le PPRL du Bessin, cette stratégie de prévention des *risques* se traduit notamment par :

- des mesures de *mitigation* et de réduction de la *vulnérabilité* pour les projets dans les zones à *enjeux* exposées à un *aléa* ;
- des mesures strictes de limitation des implantations nouvelles dans des zones actuellement sans *enjeux* et exposées à un *aléa*.

La démarche d'élaboration des PPRN implique donc la définition et l'identification des zones à *enjeux* et des zones sans *enjeux* dans le périmètre du PPRN.

V.1. Définition

Les *enjeux* pris en compte correspondent à l'ensemble des personnes, des activités et des biens existants lors de l'élaboration du PPRN. Cette définition très large doit toutefois être nuancée et précisée pour permettre une analyse concrète à l'échelle de la zone étudiée.

L'identification des *enjeux* n'a en effet pas pour objectif d'établir une analyse exhaustive et détaillée du contexte socio-économique sur le territoire du PPRN. Elle ne vise pas non plus à fournir une évaluation de la *vulnérabilité* (cf. chapitre V.3).

V.2. Les enjeux dans le PPRL

Compte tenu des objectifs du PPRN et de ses modalités d'application, les *enjeux* sont essentiellement pris en compte au travers de l'occupation actuelle des sols et, de manière exceptionnelle, en intégrant des projets d'aménagement jugés essentiels pour les collectivités concernées (projets considérés comme structurants pour le territoire).

La carte des *enjeux* élaborée dans le cadre du PPRN a donc pour principal objectif de permettre de distinguer les zones actuellement urbanisées (au sens large de ce terme) des zones agricoles ou naturelles.

Remarque. Les notions de « zone urbanisée » ou de « zone non urbanisée » utilisées ici peuvent différer sensiblement des concepts similaires utilisés pour les documents d'urbanisme ou d'aménagement du territoire.

V.2.1. Typologie des enjeux

Quatre catégories principales d'occupation du sol ont été distinguées :

- les zones urbanisées ;
- les zones de projet structurants ;
- les zones de loisirs ;
- les zones naturelles et agricoles.

Cette typologie a été déclinée en fonction des éléments issus de la concertation, comme indiqué dans le tableau 22.

Tableau 22 Détail de la typologie de l'occupation du sol pour la cartographie des enjeux.

Catégorie	Sous-catégories
Zone urbanisée	Centre urbain
	Espace urbanisées
	Espace d'activités
	Cimetières
Zones de loisirs	Campings, parc résidentiels de loisirs, habitations légères de loisirs
	Terrains de sports
Zones naturelle et agricole	Construction isolée
	Espace agricole
	Espace naturel
	Surface en eau et eaux libres

V.2.2. Prise en compte des personnes

La présence des personnes, potentiellement exposées aux phénomènes étudiés n'est prise en compte que de manière implicite : elle est associée à la fréquentation des constructions (habitations, bâtiments industriels, etc.) mais ne fait pas l'objet d'une évaluation spécifique. La présence possible de personnes isolées (promeneurs, usagers de routes, piétons en zone urbaine, etc.) ne constitue pas un *enjeu* au sens des PPRN prévisibles et plus spécifiquement des PPRL.

V.2.3. Prise en compte des projets

Le principe général de prise en compte des *enjeux* est d'intégrer l'occupation du sol constatée lors des phases d'études du PPRL. Les zones dédiées à l'urbanisation future pouvant être identifiées dans les documents d'urbanisme existants (PLU) ne sont donc pas intégrées dans les *enjeux* du PPRL.

Par exception à ce principe général, certains projets devant être concrétisés à très court terme et pour lesquels les maîtres d'ouvrages et les financements sont clairement définis peuvent être pris en compte. Ces *enjeux* particuliers sont identifiés dans le cadre de la concertation.

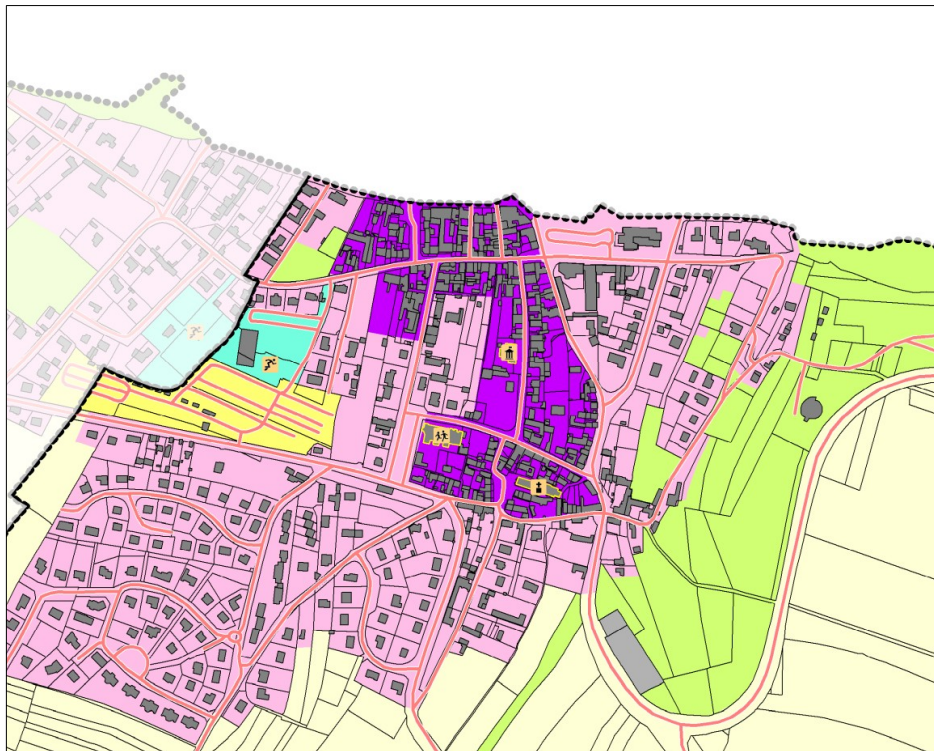
V.2.4. Cartographie des enjeux

Le PPRL étant un document prioritairement dédié à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme, la cartographie des *enjeux* est établie à l'échelle du plan de zonage réglementaire (1/5 000) et sur un fond cadastral.

Les *enjeux* ont été identifiés à partir des orthophotoplans 2012 (données les plus récentes disponibles lors des études techniques) et des reconnaissances de terrain. Les informations complémentaires collectées lors de la concertation ont été intégrées à la cartographie.

La figure 22 présente un extrait de la carte des *enjeux* d'Arromanches-les-Bains. Les cartes des *enjeux* des communes concernées par le PPRL sont consultables sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados à l'adresse suivante :

<http://www.calvados.gouv.fr/accedez-aux-plans-de-prevention-des-risques-du-r992.html>



I. ZONE URBANISEE

- Centre urbain
- Espace urbanisé
- Espaces d'activités
- Cimetières

II. ZONE DE PROJETS STRUCTURANTS

- Projet d'aménagement futurs du territoire et d'intérêt général

III. ZONE DE LOISIRS

- Camping, parc résidentiel loisirs, habitations légères loisirs
- Terrains de sports

IV. ZONE NATURELLE ET AGRICOLE

- Constructions isolées
- Espace agricole
- Espace naturel
- Surfaces en eau/eaux libres

V. VULNERABILITE DU TERRITOIRE

V.1. ERP

- Bâtiment de soin
- Service de secours
- Edifice religieux
- Bâtiment d'enseignement
- Service Public
- Loisirs et tourisme

V.2. OUVRAGES ET EQUIPEMENTS D'INTERET GENERAL

- Alimentation en eau potable
- Station d'épuration
- Transformateur EDF

V.3. ESPACES PUBLICS OUVERTS

- Terrain de sport

V.4. INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

- Ligne de chemin de fer
- Gare ferroviaire
- Réseau routier
- Port
- Mouillages

N

Figure 22 Extrait de la carte des enjeux d'Arranches-les-Bains.

V.3. La vulnérabilité dans le PPRL

La notion de *vulnérabilité* traduit la sensibilité d'un *enjeu* à un phénomène donné et les conséquences négatives de la survenance de ce phénomène sur les personnes et les biens. Son interprétation est complexe, chaque *enjeu* peut présenter une *vulnérabilité* spécifique en fonction de son usage, architecture, etc.

Les sites pouvant présenter une *vulnérabilité* particulière ont été identifiés et localisés à titre informatif. Ils ne sont en effet pas pris en compte de manière directe dans l'élaboration du plan de zonage réglementaire. Ils ont donc été répertoriés avec une approche simplifiée de manière non exhaustive.

Les sites peuvent en revanche contribuer à l'élaboration, par les collectivités concernées, des PCS dédiés à la gestion de crise.

V.3.1. Typologie pour l'analyse de la vulnérabilité

Les sites identifiés relèvent de quatre catégories :

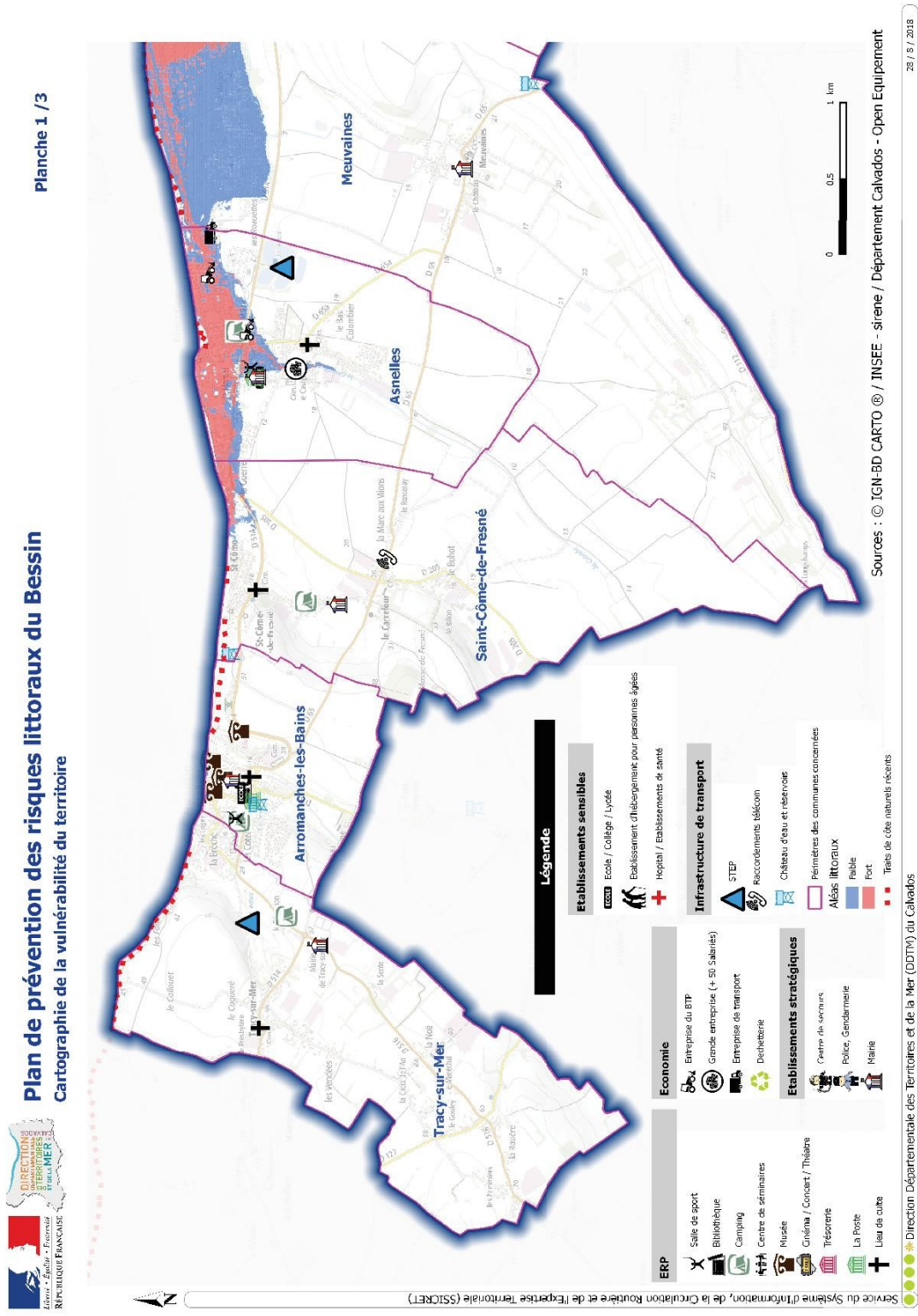
- les principaux établissements recevant du public (ERP) ;
- les ouvrages et équipements d'intérêt général ;
- les établissements stratégiques et sensibles ;
- les infrastructures économiques.

Le tableau 23 détaille ces catégories :

Tableau 23 Détail de la typologie des sites vulnérables.

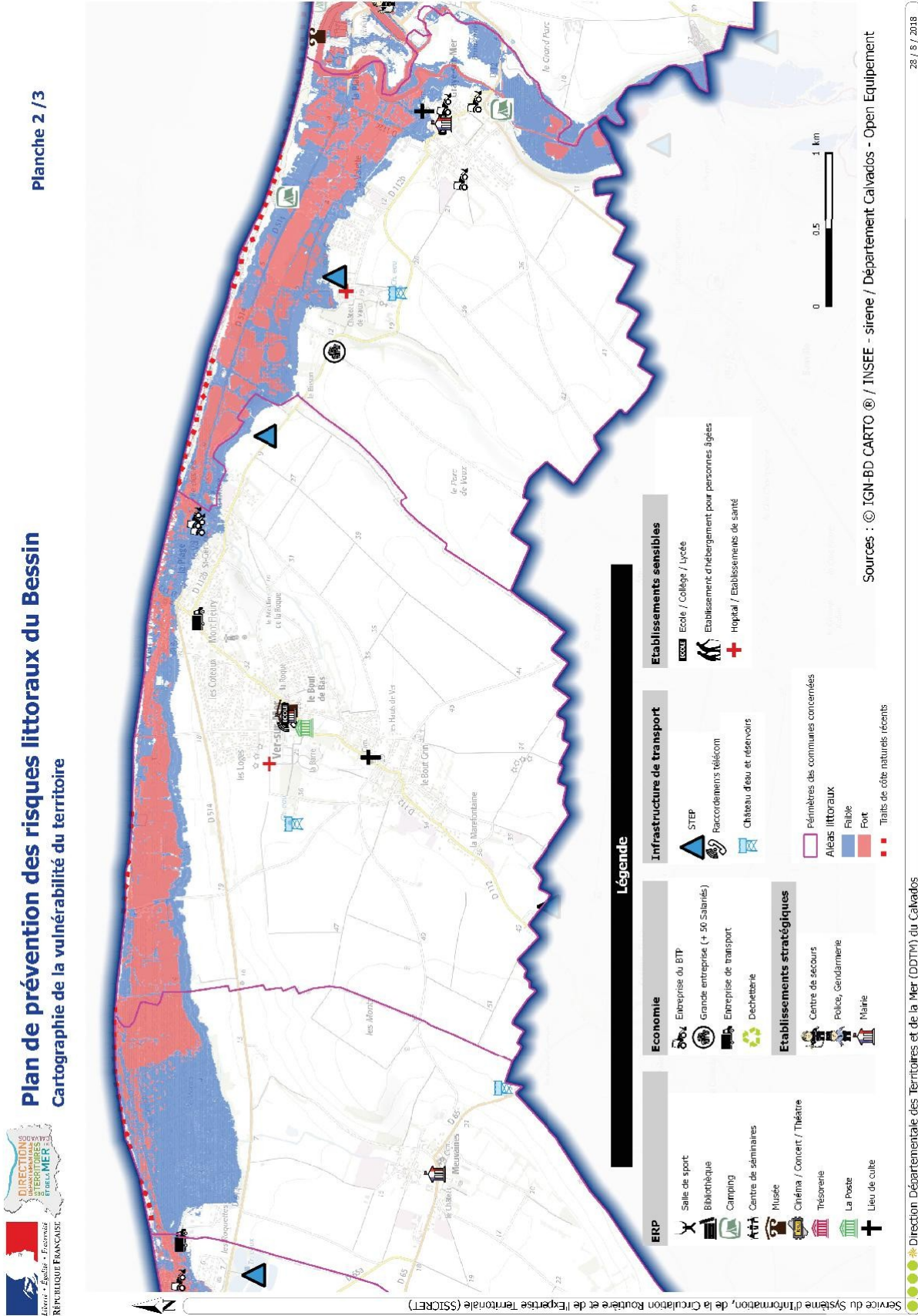
Catégorie	Sous-catégories
ERP	Édifices religieux
	Service public
	Loisirs et tourisme
Ouvrages et équipement d'intérêt général	Alimentation en eau potable
	Station d'épuration
	Transformateur électrique principal, raccordements Télécom
Etablissements stratégiques et sensibles	Services de secours, mairies Établissements scolaires, de soins, d'hébergement de personnes âgées
Infrastructures économiques	Entreprises BTP, transport et grandes sociétés (+50 salariés) Déchetteries

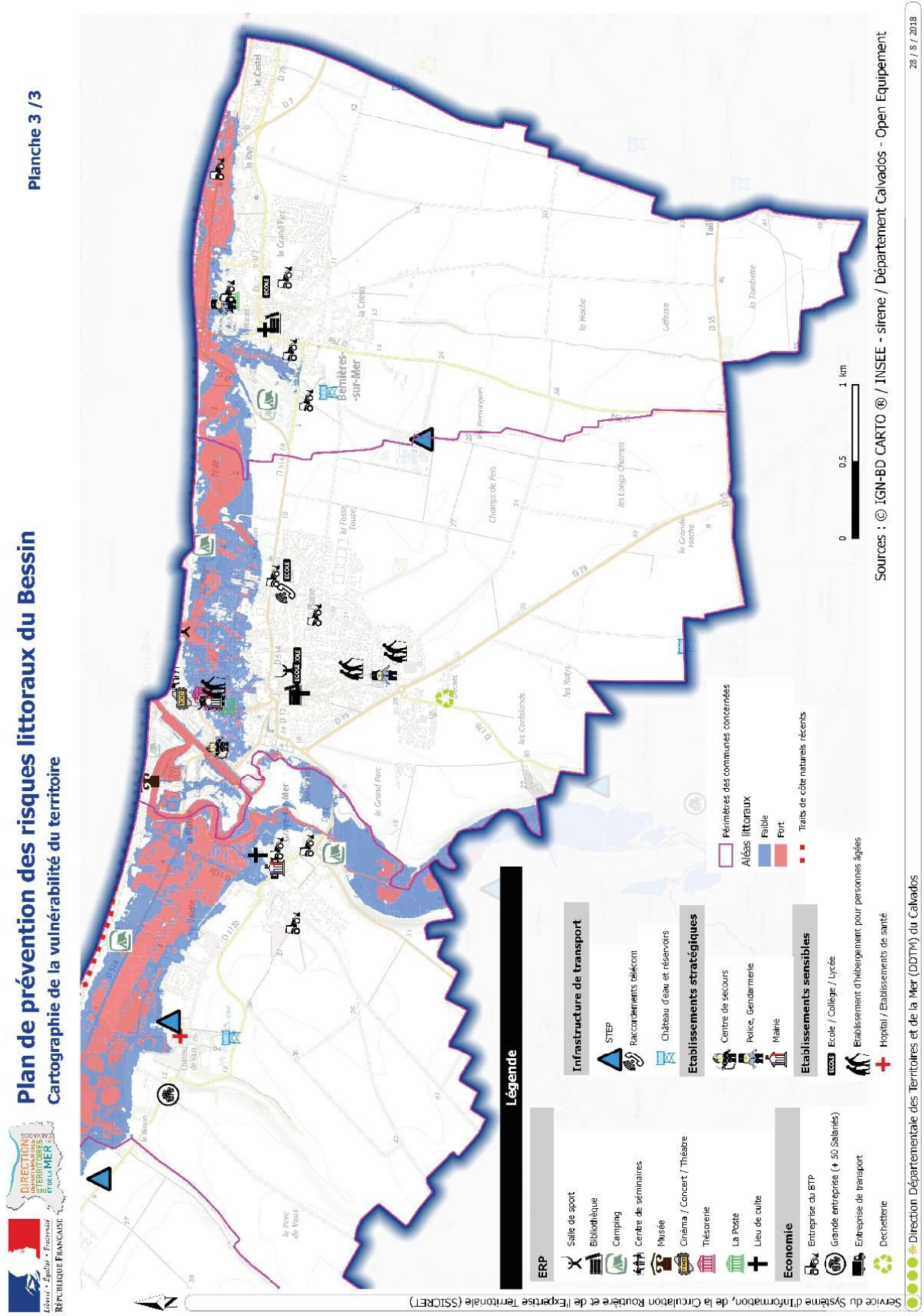
V.3.2. Cartographie de la vulnérabilité



Liberté • Égalité • Fraternité
REPUBLIQUE FRANÇAISE

Service du Système d'Information, de la Création Routière et de l'Expertise Territoriale (SSICRET)





VI. Élaboration du zonage réglementaire

Le zonage réglementaire et le règlement associé constituent le volet opposable aux tiers du PPRL après son approbation.

Le règlement définit les mesures de prévention et de protection applicables.

Le zonage réglementaire identifie les zones concernées par ce règlement. Cette délimitation s'appuie sur la cartographie des *aléas* et sur la cartographie des *enjeux*.

VI.1. Principes généraux du zonage réglementaire

Les principes généraux de définition du zonage réglementaire sont résumés dans les tableaux 24, 25 et 26. Ces principes définissent le type de zone réglementaire pour chaque *aléa* (nature et degré) et les diverses catégories d'*enjeux* identifiées (cf. chapitre V).

Tableau 24 Définition du zonage réglementaire en fonction de l'occupation du sol et de l'aléa.

Nature de la zone d'enjeux	Scénario de référence T100+20	Scénario à échéance 100 ans – T100+60			
		Aléas	Nul	Faible	Moyen
Non urbanisée	Nul	V	B1	Rs	
	Faible		Rs		
	Moyen		Rs		
	Fort/Très fort				Rs
Zones d'activités sportives et d'hébergement, de plein air	Nul	V	O		
	Faible		O		
	Moyen		O		
	Fort/Très fort				Rs
Urbanisée hors centre urbain	Nul	V	B2		
	Faible		B1		
	Moyen		B1		
	Fort/Très fort				Rs
Urbanisée en centre urbain	Nul	V	B2		
	Faible		B2		
	Moyen		B2		
	Fort / Très fort				Rs

Tableau 25 Définition du zonage réglementaire dans l'emprise des bandes de précaution et des bandes de chocs mécaniques.

Nature de la zone	Scenario de référence T100+20	Scénario à échéance 100 ans – T100+60
Bande de précaution	Rs	B1
Bande de chocs mécaniques	Rs	B1
Système de protection	J	

Tableau 26 Définition du zonage réglementaire pour les zones exposées à l'aléa de recul du trait de côte.

Nature de la zone	Scenario de référence T100+20	Scénario à échéance 100 ans – T100+60
Aléa érosion	Re	
Système de protection	J	

VI.2. Adaptations ponctuelles

Des adaptations ponctuelles sont apportées au zonage réglementaire pour tenir compte de diverses contraintes de représentation et d'exploitation des documents :

- suppressions de petites zones (surface inférieure à 100 m²) correspondant à des variations locales de l'aléa, liées aux limites des modèles utilisés et aux données topographiques, concernant des zones homogènes du point de vue des enjeux (notamment dans l'emprise des voiries et dans les zones naturelles) ;
- lissage des contours pour ajuster les limites de zones sur des limites ayant une signification en termes d'urbanisme (emprise de voirie, parcelles cadastrales). Ces ajustements portent sur des variations n'excédant pas quelques mètres de la position des limites issues de la cartographie des aléas.

VI.3. Principes du règlement des différentes zones du PPRL

Le territoire du PPRL est partiellement recouvert par les différentes zones réglementaires suivantes :

Les **zones rouges indicées en Rs** (submersion) et **Re** (érosion). Elles sont inconstructibles à l'exception de certains cas particuliers. Le règlement sur ces zones vise à :

- préserver la fonction de stockage et de ralentissement des écoulements et ce, afin de ne pas augmenter les effets de l'*aléa* de submersion sur les zones urbanisées voisines,
- éviter l'apport de population nouvelle,
- ne pas aggraver la *vulnérabilité* de la population existante.

Les **zones bleues indicées en B1 et B2** :

Le règlement de ces zones vise à :

- admettre l'apport de population nouvelle,
- ne pas aggraver la *vulnérabilité* de la population résidente,
- permettre la densification et le renouvellement urbain.

Les **zones oranges (O)** :

Le règlement de ces zones vise à :

- ne pas aggraver la *vulnérabilité* de la population utilisatrice de ces espaces,
- permettre la gestion de l'existant et la création d'espaces destinés à ces destinations compatibles avec les *risques* identifiés.

Les **zones jaunes (J)** comprennent tous les secteurs situés au-dessus de la cote de référence constituant en tout ou partie un *système de protection* contre la submersion.

Les **zones vertes (V)** comprennent les secteurs situés sous la cote de référence non impactés par un *aléa* de submersion.

VII. Bibliographie et références

- [1] Alp'Géorisques & IMDC, 2014a. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Phase 1 : Analyse préalable des sites*. Rapport I/RA/12107/13.197/MCO v3.0
- [2] Alp'Géorisques & IMDC, 2014b. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Phase 2 : Statistique*
- [3] Alp'Géorisques & IMDC, 2015a. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Rapport de modélisation n°1 : houle, test de digue, test de dune, transport sédimentaire*. I/RA/12107/14.273 v1.0
- [4] Alp'Géorisques & IMDC, 2015b, *Note des hypothèses de brèche secteur Bessin*.
- [5] EurOtop, 2007. *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*.
- [6] Letortu P., 2013. *Le recul des falaises crayeuses haut-normandes et les inondations par la mer en Manche centrale et orientale : de la quantification de l'aléa à la caractérisation des risques induits*. Caen : Université de Caen Basse-Normandie, 2013. 414 p.
- [7] Maquaire O., Gigot P. « *Reconnaissance par sismique réfraction de la décompression et de l'instabilité des falaises vives du Bessin (Normandie, France)* ». *Geodinamica Acta*. 1988. Vol. 2, n°3, p. 150-159.
- [8] Maquaire O., Gigot P., Ballais J. L. *Étude du glissement du Bouffay (5 août 1981): réflexion en vue de la prévision et de la prévention*.
- [9] Maurizot P. et al., 2000. *Carte géologique de France (1/50 000), feuille Bayeux – Courseulles-sur-Mer (119)*.
- [10] Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (DGPR/SRNH), mai 2014, *Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux*.
- [11] Petit-Berghem et al., 2010. *Les ensembles dunaires du Département du Calvados : présentation, typologie et proposition pour une conservation durable du milieu*. Y. Petit-Berghem, AS. David, AF. Gennevois, C. Fouetillou, Université de Caen, Syndicat Mixte Calvados Littoral Espaces Naturels, octobre 2010.
- [12] Petit-Berghem, 2012. *Expertiser le territoire : contribution à une nouvelle typologie des dunes du Calvados, M@ppemonde 108 (2012.4)*. URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num36/articles/art12403.html>
- [13] SHOM – CETMEF, 2012. *Étude statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France*.

VIII. Annexes

Annexe I – Actions engagées par l'État pour améliorer la gestion du risque inondation suite Xynthia

Les évènements dramatiques survenus le 27 février 2010 lors du passage de la tempête Xynthia, ont conduit à renforcer la prévention des risques de submersions rapides sur les territoires impactés, et ont participé, plus largement, à orienter les évolutions de la prévention des inondations à l'échelle nationale.

Les actions et dispositifs qui en ont découlé et leur articulation sont rappelés ci-après :

Sur l'origine des actions :

Pour répondre à l'urgence d'augmenter la sécurité des populations dans les zones inondables, l'État avait adopté suite à la tempête Xynthia, pour 6 ans, le Plan national Submersions Rapides (PSR), composé d'un ensemble d'actions opérationnelles pour la maîtrise de l'urbanisation et l'adaptation du bâti existant, l'amélioration de la connaissance des aléas et des systèmes de surveillance ou de prévision, de vigilance et d'alerte, la fiabilité des ouvrages et des systèmes de protection et l'amélioration de la résilience des populations.

Son objectif était d'inciter les territoires à élaborer et appliquer des projets de prévention pour garantir en priorité la sécurité des personnes vis-à-vis de ces aléas, par une démarche pragmatique, intégrant aussi des projets ponctuels mais sur des zones cohérentes à l'échelle des bassins de risque.

La circulaire interministérielle du 7 avril 2010, relative aux mesures à prendre suite à la tempête Xynthia du 28 février 2010, a prescrit dans son paragraphe 6.3 : « *de couvrir par un PPRN approuvé l'ensemble des zones basses exposées à un risque fort de submersion marine sous 3 ans* ». En s'appuyant sur une hiérarchisation du niveau de risque sur l'ensemble des zones exposées, « *les préfets de département, avec l'appui des préfets de région établiront un zonage des communes littorales sur lesquelles un PPR Littoral est à établir en priorité* ».

Sur les zones situées sous le niveau marin (ZNM)

C'est dans ce contexte qu'ont été élaborées les premières cartes de ZNM, actualisées depuis. L'atlas des ZNM de Basse-Normandie cartographie l'ensemble des territoires topographiquement situés sous un niveau marin de référence (décrit sur la notice qui accompagne ces cartes). Cette cartographie met également en avant l'ensemble des territoires situés derrière les éléments jouant un rôle de protection contre les submersions marines ou l'érosion marine. Cet atlas constitue la première étape dans la connaissance de l'aléa de submersion marine puisqu'il permet une description statique du risque de submersion (et non une description dynamique de ce risque).

Ainsi, dans les secteurs qui bénéficient d'un plan de prévention des risques littoraux les aléas modélisés se substituent à l'atlas des ZNM.

La circulaire du 27 juillet 2011 est venue préciser les modalités de la prise en compte de la submersion marine dans les plans de prévention des risques littoraux à élaborer ; et celle du 2 août 2011, relative à la mise en œuvre des plans de prévention des risques littoraux, impose que ces plans couvrent des bassins de risques cohérents, traitant de tous les types d'aléas littoraux (« submersion marine », mais aussi « érosion »).

Au terme du travail de hiérarchisation du niveau du risque sur l'ensemble des secteurs exposés sur le territoire national, la circulaire précitée du 2 août 2011 a fixé, dans son annexe 1, la liste des 303 communes françaises identifiées comme prioritaires et pour lesquelles un plan de prévention des risques littoraux devait être prescrit. 15 communes du Calvados ont été identifiées dans ce cadre et parmi elles, celles couvertes par le présent PPRL.

Outre ces actions menées rapidement après Xynthia, le plan submersions rapides s'est concrétisé dans de nombreuses autres actions entreprises sur les territoires impactés mais aussi à l'échelle nationale. Ces actions restent aujourd'hui au cœur de la politique de prévention des risques naturels.

Sur la directive inondation

L'augmentation de la sécurité des populations dans le cadre de cette politique nationale, est un objectif fort, ré-affirmé par la **stratégie nationale de gestion des risques inondations (SNGRI)** adoptée par le Gouvernement le 7 octobre 2014. Construite à l'occasion de la mise en œuvre de la directive européenne 2007/60/CE, dite «**directive inondation**», la SNGRI propose une approche globale et intégrée de la gestion des inondations et vise à assurer la cohérence des actions menées sur le territoire national. Elle poursuit 3 objectifs prioritaires :

- augmenter la sécurité des populations exposées ;
- stabiliser à court terme, et réduire à moyen terme, le coût des dommages liés à l'inondation ;
- raccourcir fortement le délai de retour à la normale des territoires sinistrés.

Au travers de cette politique, une attention particulière est portée sur les secteurs les plus exposés : les **territoires à risque important d'inondation (TRI)**. Établis à partir d'une évaluation préliminaire des risques, sur chaque district hydrographique, 122 territoires à risque important d'inondation ont été arrêtés sur l'ensemble du territoire national.

L'arrêté du 27 novembre 2012 a établi la liste des TRI du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands retenus par le préfet coordonnateur du bassin Seine-Normandie. Parmi ces TRI sont identifiés, pour le Calvados, le **TRI de Caen** (14 communes) et le **TRI de Dives-Ouistreham** (8 communes).

Ces deux TRI ont fait l'objet d'une cartographie des surfaces inondables pour différents scénarios d'inondation (événements fréquent, moyen et extrême) et d'une cartographie

des risques d'inondation pour les aléas retenus, à savoir les inondations par débordements de cours d'eau et par submersions marines, en vue notamment de l'élaboration d'une stratégie locale de gestion des risques d'inondation (SLGRI) partagée entre les collectivités locales, les acteurs économiques du territoire et l'État. Toutes ces cartes peuvent être consultées sur le site internet de la DREAL Normandie à l'adresse suivante : <http://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/tri-de-caen-et-dives-ouistreham-r537.html>

Ainsi les territoires compris dans ces TRI doivent faire l'objet d'un PPR à approuver prioritairement selon la méthodologie nationale décrite dans la présente note de présentation.

Le **Plan de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI)** du bassin Seine-Normandie a été approuvé le 7 décembre 2015. Il définit les objectifs généraux en matière de gestion du risque d'inondation à l'échelle du bassin Seine-Normandie pour 2016-2021 ainsi que les objectifs particuliers à l'échelle des périmètres de gestion des TRI.

Il donne un cadre aux politiques locales de gestion des risques d'inondation en combinant les actions de réductions de vulnérabilité, de gestion de l'aléa, de gestion de crise, de gouvernances et le développement de la culture du risque.

Le PGRI Seine-Normandie est téléchargeable sur le site de la DRIEE Île-de-France à l'adresse suivante : <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/plan-de-gestion-des-risques-d-inondation-pgri-r820.html>

Le PGRI a une portée juridique directe sur les plans de prévention des risques (PPR) qui doivent être compatibles ou rendus compatibles avec les dispositions du PGRI (article L.562-1 VI du code de l'environnement).

La **Stratégie Locale de Gestion des Risques d'Inondation (SLGRI)** concourt à la réalisation des objectifs de réduction des conséquences négatives des inondations fixés par le PGRI tout en poursuivant les démarches locales engagées à l'échelle du TRI et plus largement à l'échelle du bassin de risque et des bassins versants. Ainsi, son objectif principal est d'assurer la sécurité des personnes exposées aux risques d'inondation et de réduire les conséquences dommageables des inondations sur les TRI et, au-delà, sur l'ensemble du périmètre de la stratégie locale.

Sur la compétence GEMAPI

L'État a également clarifié le cadre des responsabilités notamment en matière d'inondation avec la **loi de modernisation de l'action publique territoriale et l'affirmation des métropoles (MAPTAM)** du 27 janvier 2014 qui attribue au bloc communal une compétence exclusive et obligatoire relative à la **gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations (GEMAPI)**.

La création et l'attribution de la compétence GEMAPI aux communes clarifie les responsabilités que les maires assument déjà partiellement en la matière et fournit les outils juridiques et financiers nécessaires pour leur exercice. Elle permet également de replacer la gestion des cours d'eau ou des espaces littoraux au sein d'aménagement des

territoires. Cette réforme concentre, à l'échelle communale et intercommunale, des compétences jusqu'alors morcelées. Depuis le 1er janvier 2018, la compétence de gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations (Gemapi) est confiée aux intercommunalités.

S'agissant de la gestion des ouvrages de protection contre les inondations et/ou les submersions, elle relève désormais de la compétence GEMAPI.

Sur les autres outils déployés (non exhaustif)

Pour appuyer cette politique, l'État a également mobilisé de nombreux outils complémentaires, outre la poursuite de l'élaboration des plans de prévention des risques littoraux/inondation par les services de L'État en concertation avec les collectivités, tels que :

- les **programmes d'actions de prévention des inondations (PAPI)**, outils de contractualisation entre l'État et les collectivités qui permettent la mise en œuvre d'une politique globale, à l'échelle du bassin de risques et financés en partie par le fonds Barnier (selon des critères d'éligibilité) ;
- les **actions de réduction de la vulnérabilité** qui participent à la sécurité des personnes ou permettent de réduire les dommages ou de faciliter le retour à la normale, avec l'introduction d'une nouvelle mesure pour financer les diagnostics et les travaux de réduction de la vulnérabilité aux inondations dans le cadre des PAPI ;
- depuis 2011, la mise en place de la **mission référent départemental pour l'appui technique à la préparation et à la gestion de crises d'inondation** structurée au sein des DDT(M) et qui permet de mieux gérer l'information transmise aux acteurs de la sécurité civile et aux décideurs locaux, pour la prise de décision relative à la gestion de crise face au risque d'inondation ;
- la mise en place par Météo France d'une **vigilance spécifique météo «vagues submersions»**, opérationnelle depuis octobre 2011 sur l'ensemble du littoral de métropole a nettement amélioré les capacités de réaction lors des tempêtes. Elle est en amélioration continue, en lien avec la mission RDI sur le littoral ;
- le **dispositif de vigilance crues Vigicrues** qui assure actuellement la surveillance du réseau hydrographique métropolitain complété depuis 2017 par un système d'avertissements automatiques sur les crues soudaines pour les autorités, Vigicrues Flash. Les élus locaux des communes couvertes peuvent en bénéficier gratuitement.
- ...etc.

Remarque: Les cartes du PPRL sont en consultation libre sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados à l'adresse suivante : <http://www.calvados.gouv.fr/accedez-aux-plans-de-prevention-des-risques-du-r992.html>
