

Directive Inondation

Bassin Artois Picardie

Territoire à Risque Important d'inondation (TRI) de Calais



Cartographie des surfaces inondables et des risques

Rapport explicatif

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir

SOMMAIRE

RÉSUMÉ NON TECHNIQUE.....	3
TABLE DES SIGLES ET ACRONYMES UTILISÉS.....	5
1 - INTRODUCTION.....	6
2 - PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU TRI.....	8
2.1 - Présentation du TRI de Calais.....	8
2.2 - Phénomènes pris en compte pour la cartographie.....	11
2.2.1 -Inondations significatives du passé.....	11
2.2.2 -Aléa cartographié.....	11
2.3 - Association des parties prenantes pour la phase cartographie.....	12
3 - CARTOGRAPHIE DES SURFACES INONDABLES DU TRI.....	13
3.1 - Généralités sur la submersion marine.....	13
3.2 - Cartes des surfaces inondables.....	14
3.2.1 -Méthodologie employée.....	15
3.2.2 -Scénario extrême.....	17
3.2.3 -Présentation des sites retenus sur le TRI de Calais.....	18
3.2.4 -Limite de validité des cartes.....	26
3.3 - Carte de synthèse des surfaces inondables.....	26
4 - CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION DU TRI DE CALAIS.....	27
4.1 - Méthode de caractérisation des enjeux.....	27
4.2 - Type d'enjeux caractérisés pour la cartographie des risques.....	27
4.3 - Sources des données relatives aux enjeux.....	28
5 - LISTE DES ANNEXES.....	30
Annexe I : Atlas cartographique.....	30
Annexe II : Compléments méthodologiques.....	31

Résumé non technique

Les territoires à risque important d'inondation

La sélection des territoires à risque important d'inondation du bassin Artois-Picardie implique la mise en œuvre d'une stratégie concertée pour répondre à la Directive Inondation.

La mise en œuvre de la Directive Inondation vise à fixer un cadre d'évaluation et de gestion des risques d'inondation à l'échelle du bassin Artois-Picardie tout en priorisant l'intervention de l'État pour les territoires à risque important d'inondation (TRI).

11 TRI ont été arrêtés le 26 décembre 2012 sur le bassin Artois-Picardie¹. Cette sélection s'est appuyée sur plusieurs éléments à partir d'une méthode nationale unifiée : les travaux de l'évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI), l'arrêté national définissant les critères de sélection des TRI et précisant des indicateurs d'enjeux, en concertation avec les parties prenantes du bassin Artois-Picardie, via notamment la commission de bassin inondation.

L'identification des TRI obéit à une **logique de priorisation** des actions et des moyens apportés par l'État dans sa politique de gestion des inondations. À cet effet, les TRI sélectionnés devront faire l'objet :

- d'une **cartographie** des surfaces inondables et des risques pour les phénomènes d'inondation principaux caractérisant le territoire,
- de **stratégies locales** de gestion des risques d'inondation co-construites avec les services de l'État et les parties prenantes, dont les objectifs et le périmètre devront être identifiés en 2014. Elles s'inscrivent dans un cadre de partage des responsabilités, de maintien d'une solidarité amont-aval face aux risques, de recherche d'une synergie avec les autres politiques publiques.

Les TRI sont concernés par des conséquences négatives susceptibles d'impacter leur bassin de vie au regard de phénomènes prépondérants.

Pour ce premier cycle de mise en œuvre de la Directive Inondation, la cartographie des risques d'inondation répond à l'objectif de cartographier l(es) aléa(s) principal(aux) sur les TRI.

Le territoire à risque important d'inondation de Calais

Le périmètre du TRI est constitué de 6 communes et a été défini autour de l'unité urbaine de Calais. La cartographie des phénomènes d'inondation a été élaborée pour la submersion marine.

¹ Plus d'informations sur le site Internet de la DREAL Nord – Pas-de-Calais : <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?Cartographie-des-TRI>

La cartographie du TRI de Calais

Objectifs généraux et usages

La cartographie du TRI de Calais apporte un approfondissement de la connaissance sur les surfaces inondables et les risques pour trois types d'événements :

- fréquent (événement présentant une probabilité sur 10 de se produire chaque année),
- moyen (événement présentant une probabilité sur 100 de se produire chaque année) ainsi que l'événement moyen intégrant les conséquences du changement climatique,
- extrême (événement présentant une probabilité sur 1000 de se produire chaque année).

De fait, elle apporte un premier support d'évaluation des conséquences négatives du TRI pour ces trois événements en vue de l'élaboration d'une stratégie locale de gestion des risques.

Elle vise en outre à enrichir le porter à connaissance de l'État dans le domaine des inondations et à contribuer à la sensibilisation du public. Plus particulièrement, le scénario « extrême » apporte des éléments de connaissance ayant principalement vocation à être utilisés pour limiter les dommages irréversibles et chercher à assurer, dans la mesure du possible, la continuité de fonctionnement du territoire et la gestion de crise. La cartographie de l'événement extrême devra notamment permettre d'orienter les choix d'implantation de projets structurants.

Toutefois, cette cartographie du TRI n'a pas vocation à se substituer aux cartes d'aléa des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI), lorsqu'elles existent sur le TRI, qui restent le document réglementaire de référence pour la maîtrise de l'urbanisation.

Élaboration des cartes

L'élaboration de la cartographie des surfaces inondables et des risques repose sur une étude spécifique du littoral de la Région Nord – Pas-de-Calais modélisant les effets de la houle (niveau marin y compris surcote atmosphérique et surcote de déferlement) sur des sites identifiés en raison de la topographie ou d'événements historiques. Les phénomènes modélisés peuvent être du débordement, du franchissement par paquets de mer ou de rupture (brèche dans les ouvrages ou du cordon dunaire).

Principaux résultats de la cartographie du TRI

La cartographie du TRI de Calais se décompose en un jeu de trois types de carte au 1/ 25 000^{ème} pour la submersion marine :

- 4 cartes des surfaces inondables correspondant chacune aux événements fréquent, moyen (avec et sans changement climatique), extrême, et présentant une information sur les surfaces inondables et les hauteurs d'eau ;
- une carte de synthèse pour les trois scénarios retenus ;
- une carte des risques présentant les enjeux situés dans les surfaces inondables et apportant une information sur les populations et les emplois exposés par commune et par scénario.

À l'échelle du TRI de Calais, la cartographie des risques d'inondation fait ressortir l'estimation des populations et des emplois en zone inondable, présentée dans le tableau ci-dessous :

	Population permanente			Emplois		
	Crue fréquente	Crue moyenne	Crue extrême	Crue fréquente	Crue moyenne	Crue extrême
Submersion marine	635	3 308	5 046	128 à 177	1 994 à 2 043	2 346 à 2 395

Table des sigles et acronymes utilisés

- AZI : Atlas des zones inondables
- DCE : Directive cadre sur l'eau
- DDTM : Direction départementale des territoires et de la mer
- DI : Directive Inondation
- DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
- EPRI : Évaluation préliminaire des risques d'inondation
- ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement
- IGN : Institut national de l'information géographique et forestière (*Institut Géographique National*)
- MEDDE : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
- ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
- PPRi : Plan de prévention des risques d'inondation
- PPRL : Plan de prévention des risques littoraux
- PGRI : Plan de gestion des risques inondation
- SAGE : Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
- SCoT : Schéma de cohérence territoriale
- SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
- STEU : Station de traitement des eaux usées
- TRI : Territoire à risque important d'inondation

1 - Introduction

Une cartographie s'inscrivant dans le cadre de la Directive Inondation

La Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007, relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondations dite « Directive Inondation », a pour principal objectif d'établir un cadre pour l'évaluation et la gestion globale des risques d'inondations, qui vise à réduire les conséquences négatives pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées aux différents types d'inondations.

L'évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI), arrêtée le 22 décembre 2011, a posé un diagnostic global à l'échelle du bassin Artois-Picardie. Sur cette base, un plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) à la même échelle définira un cadre de définition des objectifs et de dispositions pour la réduction des conséquences dommageables des inondations. Le PGRI devra être arrêté avant le 22 décembre 2015 par le préfet coordonnateur de bassin Artois-Picardie.

Le PGRI constitue un document de planification pour la gestion des risques d'inondation sur le bassin. À ce titre, au-delà de dispositions communes à l'ensemble du bassin, celui-ci doit porter les efforts en priorité sur les territoires à risque important d'inondation (TRI).

Sur la base du diagnostic de l'EPRI et d'une concertation avec les parties prenantes du bassin, 11 TRI ont été arrêtés le 26 décembre 2012 sur le bassin Artois-Picardie. Le choix de ces territoires et de leur périmètre s'est appuyé sur plusieurs éléments à partir d'une méthode nationale unifiée : les travaux de l'EPRI, l'arrêté national définissant les critères de sélection des TRI et précisant des indicateurs d'enjeux, la base des unités urbaines, bassins de vie et concentration d'enjeux exposés aux inondations au regard de leur impact potentiel sur la santé humaine et l'activité économique, en concertation avec les parties prenantes du bassin Artois-Picardie.

Le TRI de Calais a été retenu au regard de la submersion marine. La qualification de ce territoire en TRI implique l'élaboration d'une stratégie locale de gestion des risques d'inondation co-construite avec les services de l'État et les parties prenantes, arrêtée par le préfet, et qui décline les objectifs de réduction des conséquences négatives des inondations du PGRI à l'échelle d'un bassin de gestion du risque cohérent.

Pour la définition de cette stratégie, le TRI constitue le périmètre de mesure des effets et la stratégie éclaire les choix à faire et à partager sur les priorités.

Le périmètre de la stratégie locale sera défini sur un périmètre vraisemblablement plus large que celui du TRI permettant de prendre en compte la solidarité amont-aval ainsi que d'autres phénomènes, tels que le ruissellement.

La cartographie des surfaces inondables et des risques apporte une base d'approfondissement de la connaissance mobilisable en ce sens pour trois scénarios :

- scénario fréquent (période de retour de 10 ans) ;
- scénario moyen – avec et sans changement climatique (période de retour de 100 ans) ;
- scénario extrême (période de retour de 1 000 ans).

Objectifs de la cartographie des surfaces inondables et des risques d'inondation

Ces cartes contribueront à la prise en compte du risque dans les documents d'urbanisme et l'application du droit des sols par l'État et les collectivités territoriales, selon des modalités à adapter à la précision des cartes et au contexte local, et ceci surtout en l'absence de PPRi ou d'autre document de référence à portée juridique².

Par ailleurs, le scénario « extrême » apporte des éléments de connaissance ayant principalement vocation à être utilisés pour préparer la gestion de crise ainsi que dans les réflexions sur les choix d'implantation de projets structurants.

Ces cartes constituent un premier niveau de connaissance et de diagnostic du territoire qui pourra être précisé dans le cadre des stratégies locales, tant sur le volet de l'aléa que sur la connaissance fine des enjeux concernés par les inondations.

Contenu de la cartographie des surfaces inondables et des risques d'inondation

La cartographie des surfaces inondables et des risques d'inondation du TRI est constitué d'un jeu de plusieurs types de cartes au 1/ 25 000^{ème} pour la submersion marine :

- Une carte des surfaces inondables de chaque scénario (fréquent, moyen – avec et sans changement climatique – et extrême)
Elles représentent l'extension des inondations et les classes de hauteurs d'eau.
- Une carte de synthèse des surfaces inondables des trois scénarios
Elle représente sur une même carte l'extension des inondations des débordements des différents cours d'eau synthétisant les trois scénarios.
- Une carte des risques d'inondation
Elle représente la superposition de la carte de synthèse des surfaces inondables avec les enjeux présents sur les communes situées en TRI (bâti ; activités économiques ; installations polluantes ; établissements, infrastructures ou installations sensibles dont l'inondation peut aggraver ou compliquer la gestion de crise ; patrimoine culturel ; réseaux).

Le présent rapport a pour objectif de rappeler les principaux éléments de caractérisation du TRI de Calais, d'explicitier les méthodes utilisées pour cartographier les surfaces inondables et la carte des risques d'inondation. Ce rapport est accompagné d'un atlas cartographique qui présente le jeu des différents types de cartes au 1/ 25 000^{ème}.

2 Type PIG : Projet d'intérêt général. L'article R. 121-3 du code de l'urbanisme prévoit ainsi que peut constituer un P.I.G. tout projet d'ouvrage, de travaux ou de protection destiné, notamment, à la prévention des risques. La circulaire du 27 juin 1985 portant application des dispositions du code de l'urbanisme relatives aux projets d'intérêt général en matière de documents d'urbanisme précise que les P.I.G. pourront consister en des dispositions de protection (diminution de densité, règles de recul, de réduction de hauteur...) ou des projets de travaux de protection tels que des projets de digues, de paravalanches, de pistes forestières de défense contre l'incendie, etc.

2 - Présentation générale du TRI

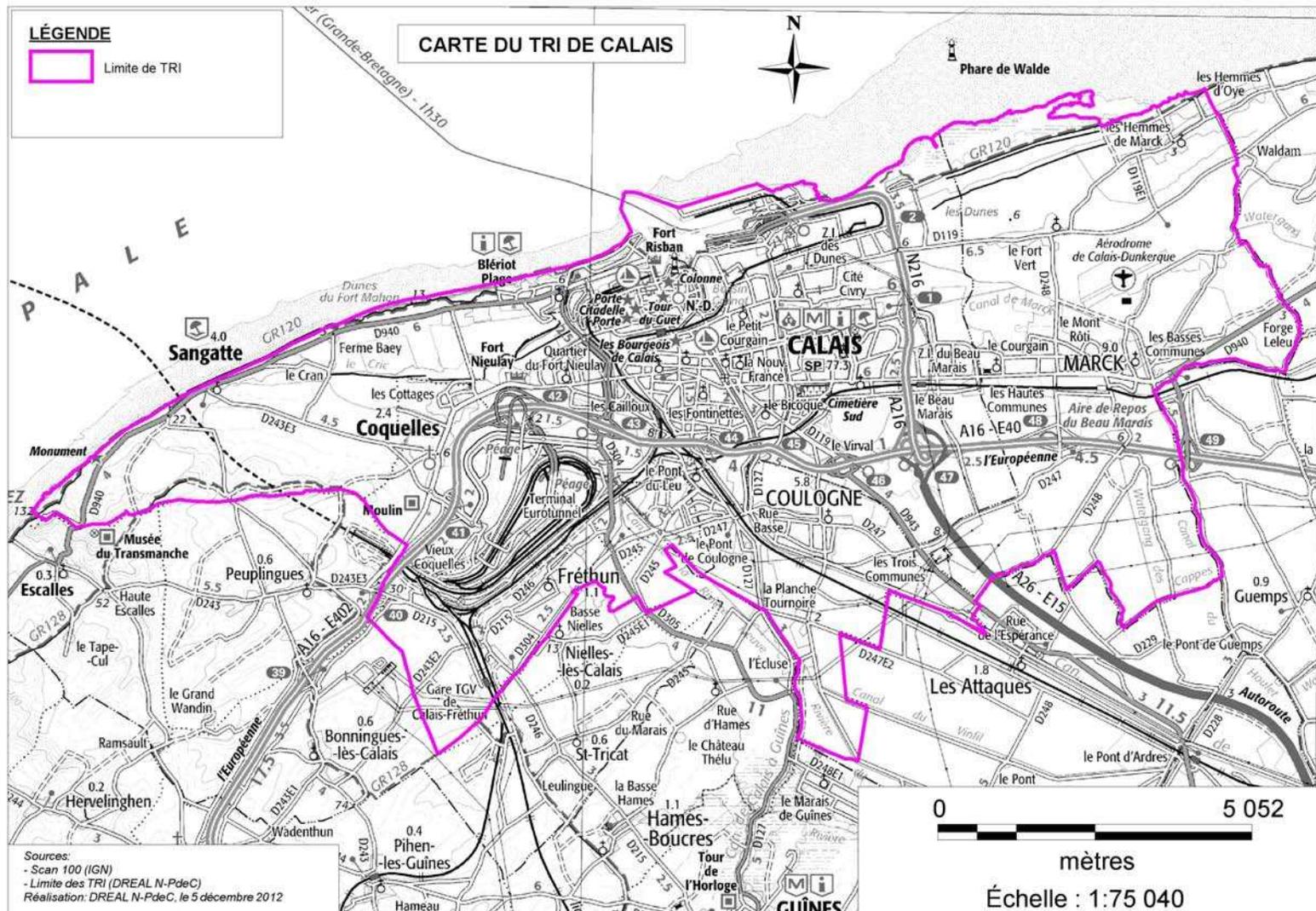
2.1 - Présentation du TRI de Calais

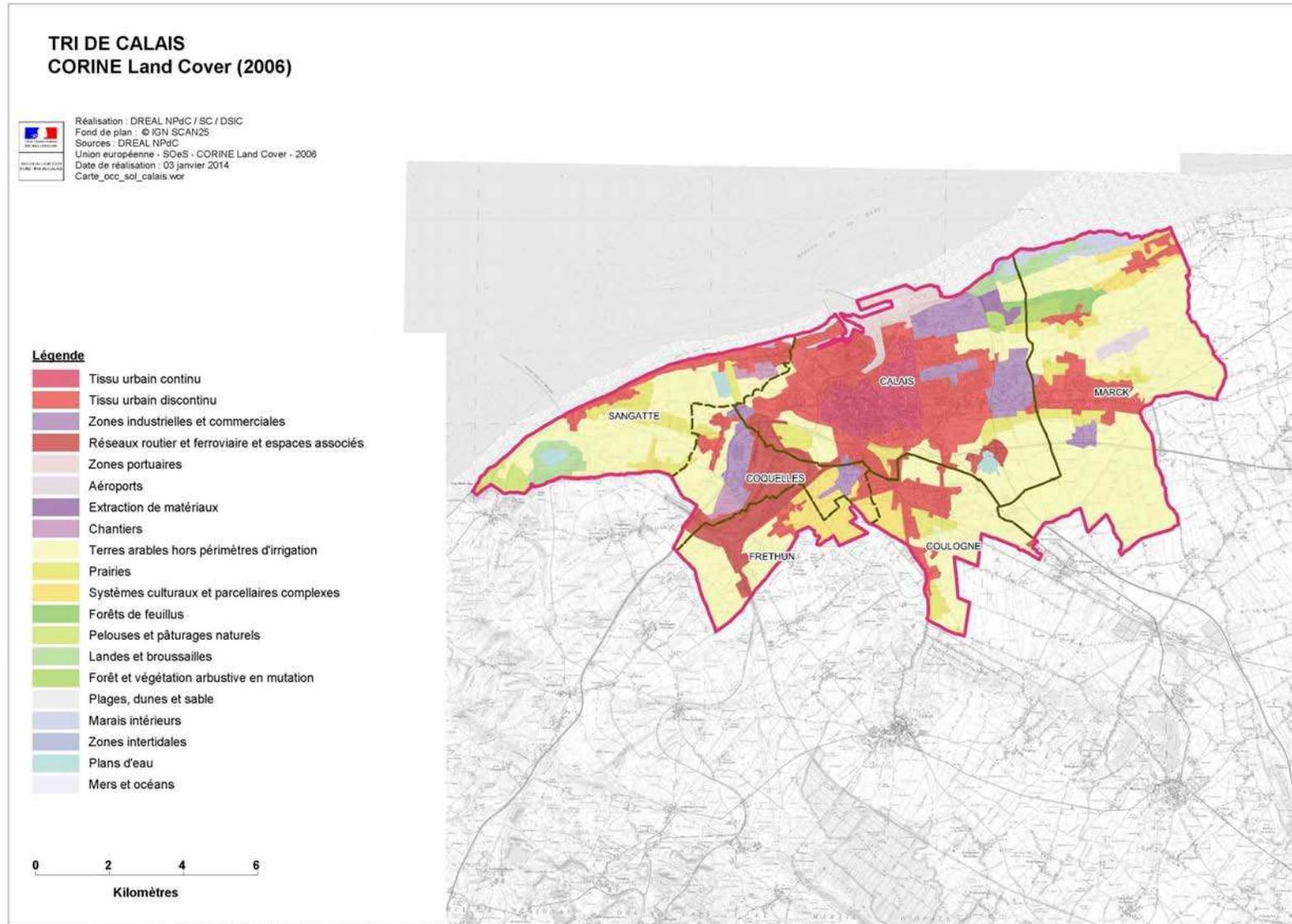
- **Libellé de la poche d'enjeux** : Unité urbaine de Calais
- **Région concernée** : Nord – Pas-de-Calais
- **Département concerné** : Pas-de-Calais
- **Carte de situation comportant le périmètre concerné** : cf. carte page suivante
- **Liste des communes concernées par la poche d'enjeux** : Calais, Coquelles, Coulogne, Fréthun, Marck et Sangatte
- **Type d'aléa** : submersion marine

Le TRI de Calais est situé en région Nord – Pas-de-Calais, dans le département du Pas-de-Calais. Il est composé de 6 communes, comprenant l'unité urbaine de Calais. Ce territoire regroupe 97 974 habitants³, dont 5 046 situés en zone inondable (compris dans l'enveloppe de submersion marine du scénario extrême), soit environ 5,2% de la population de ce territoire.

La carte de l'occupation des sols sur le TRI de Calais (cf. carte page 10 – Source CORINE Land Cover, 2006) offre un premier aperçu de l'aménagement de ce territoire, structuré autour de la métropole de Calais.

3 Population INSEE 2010





Niveaux de réalisation antérieure en termes de gestion des risques d'inondation

Un PPRL a été prescrit sur les communes du TRI le 14 septembre 2011.

Les cartes des aléas PPRL et les cartes de la DI sont issues de la même étude. Toutefois, certaines différences sont à noter dans la présentation, en raison de l'utilisation des standards cartographiques utilisées (PPR ou DI) ou en raison de notion spécifique aux PPRL ou à la DI (présence ou non de bandes de protection, non effacement des ouvrages hydrauliques en Q10.).

2.2 - Phénomènes pris en compte pour la cartographie

2.2.1 - Inondations significatives du passé

Ci-après sont cités quelques événements remarquables liés à la submersion marine. Une liste plus complète des inondations significatives du passé ayant touché le TRI de Calais est disponible dans le volet « Unité de présentation Aa Yser Audomarois » de l'EPRI du bassin Artois-Picardie⁴.

La submersion marine liée à la tempête de 1953 est la plus importante de par son caractère exceptionnel.

- **Les submersions marines du 31 janvier au 2 février 1953**

Les 31 janvier et 1^{er} février 1953, une dépression centrée en Mer d'Irlande génère un violent flux de Nord/Nord-Ouest en Mer du Nord. Les vents orientés perpendiculairement à la côte propulsent sur le littoral une masse d'eau importante qui provoque des submersions exceptionnelles sur toute la région. La surcote dépasse trois mètres dans l'estuaire de la Tamise. Au port de Calais, le quai, situé à la cote 8.47 m (côte marine Calais), est submergé. On estime la surcote totale à environ 2 m, soit 1.20 m au-dessus des plus hautes marées astronomiques théoriques.

Les Pays-Bas paieront le plus lourd tribut lors de cet événement avec 1 800 morts. En France, tout le littoral, de Sangatte à la frontière belge, est submergé. Aucune commune n'est épargnée. Sur certaines, on constate un simple franchissement du perré. Sur d'autres, les dépassements sont plus sévères et destructeurs : destructions de digues, recul ou rupture du cordon dunaire. Souvent, la mer pénètre dans les terres et submerge les espaces agricoles ou les secteurs urbanisés.

A Sangatte, le cordon dunaire est repoussé de 5 à 15 m et la mer s'engouffre dans les brèches pour pénétrer dans les terres.

2.2.2 - Aléa cartographié

Le TRI de Calais a été retenu au titre de l'aléa submersion marine. La cartographie réalisée prend en compte soit le phénomène de franchissement, soit le phénomène de rupture de digue ou de cordon dunaire.

⁴ Document disponible sur le site Internet de la DREAL Nord – Pas-de-Calais : <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?Evaluation-preliminaire-des-risques-d-inondation>

2.3 - Association des parties prenantes pour la phase cartographie

Travaux préparatoires :

- 5 juillet 2013 : Atelier cartographique – Réunion de présentation de la méthodologie de la phase cartographie aux parties prenantes
- Juillet 2013 – février 2014 : Mise à disposition d'un site internet d'accès réservé pour la consultation des différentes étapes de réalisation de la cartographie (cartes des enjeux, rapports des bureaux d'étude)
- Juillet 2013 – février 2014 : Mise à disposition d'une adresse mail spécifique pour recueillir les contributions des parties prenantes
- Août/septembre 2013 : Finalisation des bases enjeux
- 21 novembre 2013 : Réunion de présentation des cartes finalisées aux communes et EPCI concernés par le TRI de Calais

Consultation de deux mois organisée par le Préfet de région Nord Pas de Calais : du 11 décembre 2013 au 11 février 2014

Personnes consultées :

- Monsieur le préfet coordonnateur de bassin Artois-Picardie
- Monsieur le préfet du Pas-de-Calais
- Monsieur le directeur général de l'Agence de l'eau Artois-Picardie
- Monsieur le président du Conseil régional du Nord – Pas-de-Calais
- Monsieur le président du Conseil général du Pas-de-Calais
- Messieurs et mesdames les maires des communes du TRI de Calais
- Monsieur le président de la Communauté de Communes du Sud-Ouest Calaisis
- Monsieur le président de la Communauté d'Agglomération du Calaisis
- Monsieur le président de la Communauté de Communes de la région d'Audruicq
- Monsieur le président de la Communauté de Communes des 3 Pays
- Monsieur le président du Syndicat Mixte du Pays du Calaisis
- Monsieur le président de l'Institution Interdépartementale des Wateringues
- Monsieur le président de la CLE du SAGE⁵ du delta de l'Aa
- Monsieur le président du Parc Naturel Régional Côte d'Opale
- Monsieur le président du Syndicat Mixte de la Côte d'Opale (SMCO)
- Monsieur le directeur des voies navigables de France (VNF)

Partie générale commune d'association :

- 16 octobre 2013 et 19 février 2014 : Commission inondation de bassin Artois – Picardie
- 6 décembre 2013 : Comité de bassin Artois – Picardie
- 25 mars 2014 : Commission administrative de bassin Artois – Picardie

⁵ L'instance en charge de l'élaboration du SAGE est la commission locale de l'eau (CLE).

3 - Cartographie des surfaces inondables du TRI

Les cartes des surfaces inondables du TRI de Calais délimitent le territoire inondé par submersion marine pour trois scénarios : fréquent, moyen (avec et sans changement climatique) et extrême.

La carte de synthèse définit une vision synthétique des surfaces inondables obtenues pour ces trois scénarios.

L'échelle de validité de ces cartes est le 1/ 25 000^{ème}.

3.1 - Généralités sur la submersion marine

La submersion marine est une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et maritimes sévères provoquant des ondes de tempête. Trois phénomènes peuvent alors se produire :

Débordement : la mer envahit par débordement les terres situées sous le niveau exceptionnel de la mer.

Rupture : les protections telles que les digues et les cordons dunaires peuvent céder sous l'effet de la mer et créer des raz-de-marée.

Franchissement : les terres situées au-dessus du niveau de la mer peuvent parfois aussi être inondées, lorsque des projections d'eau de mer franchissent les ouvrages de protection sous l'effet de la houle. Le niveau atteint par les inondations peut alors être supérieur au niveau de la mer.

Ces trois phénomènes peuvent se produire conjointement ou indépendamment. Cependant, le phénomène de franchissement apporte des volumes d'eau négligeables en comparaison des volumes apportés par le débordement ou la rupture. De ce fait, le franchissement n'est pas étudié lorsqu'une inondation est par ailleurs générée par débordement ou rupture.

Le calcul de l'aléa submersion marine est par conséquent mené pour chaque zone identifiée comme potentiellement submersible, en tenant compte des spécificités du site considéré (type d'ouvrages, dunes, type de franchissement, scénarios de rupture).

La période de retour définit la fréquence statistique à laquelle un événement donné est susceptible de se produire⁶. Dans le présent contexte, la période de retour caractérise l'état de la mer (niveau et condition de houle), mais est indépendante des conséquences éventuelles telles que les ruptures d'ouvrage.

Il s'agit donc dans un premier temps de définir les niveaux marins extrêmes et les conditions de houle, pour deux périodes de retour étudiées, soit les périodes de retour décennale et centennale. Ces conditions sont déterminées tout le long du littoral du Nord – Pas-de-Calais à partir de données statistiques et d'un modèle numérique de propagation de la houle.

En parallèle, la connaissance des niveaux marins extrêmes le long des côtes permet, par comparaison avec la topographie des terres, d'identifier les sites potentiellement exposés à la submersion marine. Cette identification est ensuite ajustée et complétée par l'historique des submersions marines en Nord – Pas-de-Calais et par les conclusions de l'étude Visites Simplifiées Comparées (VSC)⁷, qui fournit une connaissance des risques de rupture des digues et cordons dunaires.

⁶ À titre d'exemple, un événement de période de retour 100 ans apparaît en moyenne une fois tous les 100 ans, bien que plusieurs événements similaires puissent se produire sur cette période. Formulé autrement, l'événement centennal a une chance sur 100 de se produire à une année donnée. Ainsi, durant une période d'observation de 100 ans, l'événement centennal a une probabilité d'occurrence de 63,4%.

⁷ Étude disponible sur le site Internet de la Préfecture du Pas-de-Calais : <http://www.nord.gouv.fr/Politiques-publiques/Prevention-des-risques-naturels-et-technologiques/La-prevention-des-risques/Prevenir-les-risques-naturels/Plans-de-prevention-des-risques-naturels-PPRN/PPRN-en-cours-d-elaboration/Les-risques-littoraux/Les-ouvrages-de-defense-a-la-mer/Etude-VSC>

Pour chaque site ainsi soumis à l'aléa submersion, les conditions de mer définies pour les périodes de retour 10 ans, 100 ans et 100 ans avec changement climatique sont ensuite simulées à l'aide d'un modèle numérique hydrodynamique. Ce modèle numérique calcule l'évolution dans le temps de l'inondation, et fournit les hauteurs de submersion et les vitesses d'écoulement permettant de caractériser l'aléa, ainsi que les temps de propagation de l'inondation. Les cartographies de l'aléa issues du modèle sont ensuite ajustées afin de classer en aléa fort les secteurs situés à moins de 100 m de la côte et des ouvrages de protection.

Pour les sites dont les ouvrages de défense contre la mer sont susceptibles de rompre, une largeur de brèches est étudiée. Dans le cas général, une largeur de 100 m correspondant au retour d'expérience de la tempête Xynthia et aux attendus de la circulaire du 27 juillet 2011⁸ est retenue. Des adaptations particulières ont cependant été adoptées pour certains sites. Elles sont décrites dans les présentations par sites.

De plus, il aurait été possible de simuler simultanément plusieurs brèches dans une même digue ou dans une même dune, ou encore des ruptures en cascade des diverses digues de protection situées en retrait à l'intérieur des terres. Pour chaque période de retour, de multiples scénarios auraient donc pu être simulés, cependant seule l'hypothèse d'une unique brèche par site a été retenue afin de définir une configuration réaliste et probable, sans rechercher à majorer l'aléa.

Il est à noter que l'identification des sites pouvant être soumis à l'aléa submersion a été effectuée d'après l'état actuel des digues et cordons dunaires. De ce fait, les cartographies de l'aléa résultant de cette analyse représentent également la situation actuelle, et un suivi régulier de l'état des protections littorales est nécessaire afin de suivre l'évolution dans le temps du risque de submersion.

3.2 - Cartes des surfaces inondables

La Directive Inondation prévoit la réalisation des cartographies des zones inondables pour trois niveaux de période de retour :

- scénario fréquent (période de retour de 10 ans)
- scénario moyen avec et sans changement climatique (période de retour de 100 ans)
- scénario extrême (période de retour de 1 000 ans)

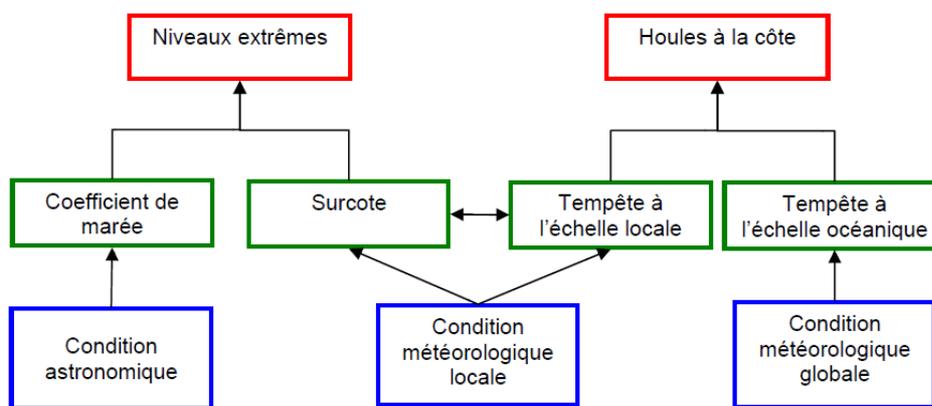
⁸ Circulaire relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPRL, consultable sur le site Internet du MEDDE : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/27-07-2011.pdf>

3.2.1 - Méthodologie employée

La méthodologie employée est décrite dans le rapport d'étude de détermination de l'aléa de submersion marine intégrant les conséquences du changement climatique en région Nord – Pas-de-Calais⁹.

Schématiquement, la méthodologie prend en compte les fluctuations du niveau de la mer liées aux facteurs astronomiques et climatiques. Le niveau marin extrême est défini comme la combinaison d'un signal de marée, d'une surcote météorologique et d'une surcote de déferlement qui se produit dans la zone de déferlement de la houle. La surcote de déferlement correspond à une surcote locale du niveau marin provenant du déferlement de la houle.

La hauteur d'eau mesurée par les marégraphes est une combinaison de la marée et de la surcote météorologique. Ainsi les événements de référence sont étudiés par une méthode statistique sur le niveau de la mer mesuré par les marégraphes, définissant les niveaux marins extrêmes, auxquels il convient éventuellement d'ajouter l'effet local de la surcote de déferlement. Ce niveau marin extrême est variable le long du littoral.



Détermination de la houle à la côte :

La connaissance des conditions de houle à la côte est nécessaire pour quantifier les niveaux marins extrêmes. En effet, d'une part la houle tend à augmenter le niveau de la mer dans les zones de déferlement, et d'autre part elle conditionne directement la quantité d'eau passant par-dessus les perrés en cas de franchissement.

En absence de mesures, la caractérisation des vagues au droit des sites de submersion n'est pas immédiate. C'est pourquoi, pour connaître les conditions de houle aux abords des sites submersibles, il a été nécessaire de calculer au moyen d'un modèle numérique la propagation et la génération des houles depuis le large, où elles sont connues, jusqu'au littoral.

Définition des niveaux extrêmes :

Les niveaux extrêmes de pleine mer¹⁰ ont été obtenus graphiquement à partir des courbes du cédérom « Statistiques des niveaux marins extrêmes de pleine mer Manche et Atlantique » (© CETMEF/SHOM 2008) et des SIG et notices de l'actualisation réalisée en 2012. Ces niveaux marins extrêmes de pleine mer rassemblent les phénomènes statiques (comme la marée) et les phénomènes dynamiques de grande ampleur de type météorologique. Il a été retenu :

- dans les ports de référence (Calais, Boulogne-sur-Mer) : données SHOM 2012,
- dans les autres sites : maximum entre les données SHOM 2008 et SHOM 2012.

⁹ Document disponible sur le site Internet de la DREAL Nord – Pas-de-Calais : <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?Etudes-analyses-et-simulations-des-submersions-marines-en-Nord-Pas-de-Calais-6606>

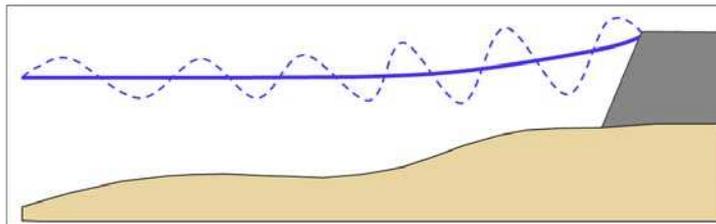
¹⁰ Au sens du Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM)

Ces niveaux marins extrêmes sont établis à partir de mesures effectuées en dehors des zones d'influence de la houle, et ne tiennent donc pas compte de la surcote de déferlement. Pour les sites étudiés exposés à la houle, il convient donc d'ajouter à ces niveaux extrêmes une surélévation due à la surcote de déferlement.

À ce niveau statique a été ajoutée une surcote de 20 cm constituant une première étape vers le changement climatique, conformément à la circulaire du 27 juillet 2011, pour l'aléa actuel. Par ailleurs, une augmentation moyenne de 60 cm pour l'aléa futur à l'horizon 2100 a été considérée. Ce scénario est conforme au scénario pessimiste précisé par l'ONERC dans sa note d'adaptation au changement climatique.

Détermination de la surcote de déferlement :

La surcote de déferlement correspond à la surélévation du niveau moyen, due au déferlement des vagues. La figure ci-dessous illustre ce phénomène (effet de la surcote de déferlement de la houle sur le niveau de la mer à l'approche de la côte) :



La surcote de déferlement s'applique donc à chaque site significativement exposé à la houle. Il se traduit par une augmentation locale du niveau de la mer, sur toute la durée durant laquelle une forte houle est observée.

Les périodes de retour de la houle au large et les niveaux extrêmes peuvent être estimés indépendamment les uns des autres. Toutefois, l'analyse statistique des paramètres croisés est nécessaire pour définir la période de retour de l'événement global. La caractérisation d'un événement de période de retour donné revient donc à définir un couple de niveau extrême / houle.

Application aux sites soumis au franchissement d'ouvrage

Les sites soumis au franchissement d'ouvrage de protection sont situés au-dessus du niveau extrême de la mer. Leur inondation ne peut donc pas être étudiée grâce à la seule connaissance du niveau (même en tenant compte de la surcote de déferlement), mais doit être analysée en estimant le débit franchissant l'ouvrage. Ce débit dépend tout autant du niveau moyen de la mer que de la hauteur de la houle au pied de l'ouvrage, de la période de la houle et de la géométrie de l'ouvrage (pente et hauteur).

Par conséquent tous les couples niveau marin / houle définis par les probabilités croisées sont testés pour caractériser le couple le plus pénalisant. Pour cela les conditions de mer définies sont propagées à l'aide du modèle numérique LITPACK, qui permet de calculer l'évolution de la houle dans le profil et la surcote de déferlement à l'approche de la côte (approche 1D). Le modèle fournit ainsi les conditions de mer au pied de l'ouvrage, en tenant compte de la bathymétrie locale.

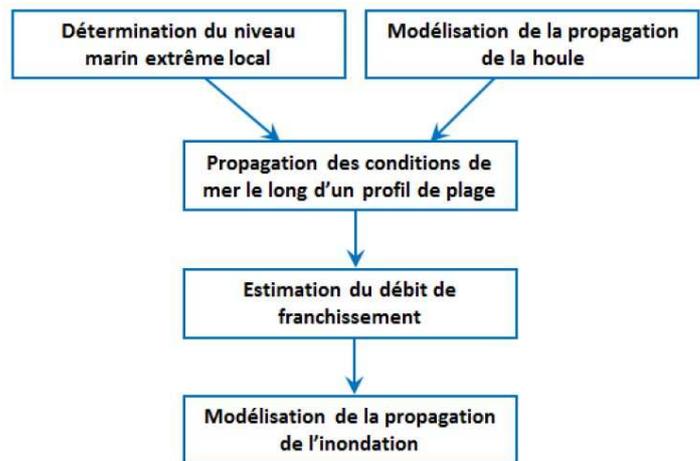


Figure 4-21 : Méthodologie pour la modélisation de franchissements

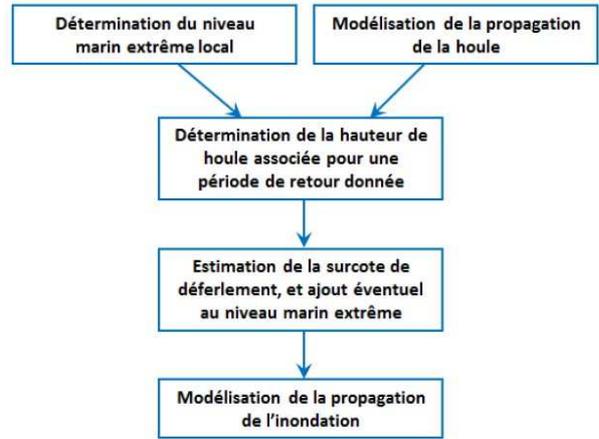
Application aux sites à rupture et aux sites à débordement

Le seul paramètre caractérisant ce phénomène est le niveau d'eau. Le couple retenu pour la modélisation le plus pénalisant est le niveau marin élevé associé à une faible houle.

Les conditions de mer, définies par ce couple, sont propagées à l'aide d'un modèle numérique. Le modèle utilisé, nommé LITPACK, permet de calculer l'évolution de la houle et de la surcote de déferlement à l'approche de la côte. Cette modélisation est effectuée le long d'un profil de plage, sur une distance de l'ordre de 2 km, c'est-à-dire à partir des fonds généralement compris entre -10 et -15 m IGN69. Ces profils sont construits à l'aide des données bathymétriques de la base de données C-Map et des données topographiques LIDAR sur l'estran.

Le modèle fournit ainsi les conditions de mer au pied de l'ouvrage, en tenant compte de la bathymétrie locale. La différence de niveau à pleine-mer entre les conditions de mer au large et au pied de l'ouvrage constitue l'estimation de la surcote de déferlement.

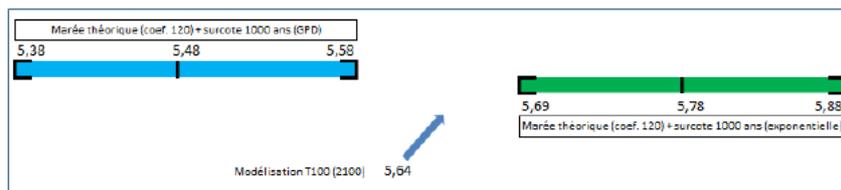
La rupture de digue ou de cordon dunaire n'est pas considérée pour l'événement décennal, sauf exception dû à l'état de l'ouvrage considéré.



3.2.2 - Scénario extrême

Concernant l'aléa extrême, il a été considéré la marée théorique (PHMA) de coefficient 120 pour Calais ainsi que les surcotes millénales estimées par le CETMEF.

En considérant les ajustements à une loi exponentielle (valeur moyenne + bornes supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 70 %) et à une loi GPD¹¹ (valeur moyenne + bornes supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 70 %), il a été prise en compte des modèles T100 à 2100 comme base de l'aléa millénal :



¹¹ loi GPD (Generalized Pareto Distribution) : loi de probabilité

3.2.3 - Présentation des sites retenus sur le TRI de Calais

Les hypothèses retenues sur la prise en compte des ouvrages de protection en fonction du scénario étudié sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

scénario Sites / type (ou nom) de l'ouvrage de protection	Fréquent	Moyen Moyen changement climatique	Extrême
Calais-Ouest (Porte de 10 mètres)	ouverte	ouverte	ouverte
Marck (Digue-marais)	Résistante	Rupture partielle (brèches)	Rupture partielle (brèches)
Blériot-Plage (Dune)	Résistante	Rupture partielle (brèches)	Rupture partielle (brèches)
Sangatte (Digue/dune)	Résistante	Rupture partielle (brèches)	Rupture partielle (brèches)

Les hypothèses, modélisation et dynamique de submersion sont détaillées site par site ci-dessous.

Marck – débordement

Hypothèses

Les niveaux marins statiques extrêmes retenus

Les niveaux marins extrêmes à Marck ont été extraits des cartes du SHOM 2008 et 2012 pour les scénarios fréquent et moyen.

Le niveau retenu pour les scénarios fréquent et moyen est celui du SHOM 2008, plus pénalisant.

	Niveau extrême de pleine-mer
T10	4,70
T100	4,90

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer (en m IGN 69) retenus à Marck

Les niveaux marins totaux retenus

Une élévation du niveau marin liée au réchauffement climatique prise en compte en 2013 de 0,20m a été ajoutée au niveau de pleine-mer centennal. Pour la modélisation du scénario moyen intégrant le changement climatique, une surcote supplémentaire de 0,40 m a été ajoutée afin d'obtenir une élévation moyenne de 0,60 m, conforme au scénario pessimiste établi par l'ONERC.

Le calcul de la surcote de déferlement liée aux niveaux marins précédemment exposés est effectué par propagation de la houle au travers d'un modèle 1D.

L'incertitude sur les hypothèses de calcul de la surcote de déferlement est de plus intégrée aux niveaux marins finaux.

	Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Surcote de déferlement	Incertitude sur le calcul de la surcote de déferlement	Niveau extrême de pleine-mer total retenu
T10	4,70	-	0,18	0,07	4,95
T100	4,90	0,20	0,11	0,04	5,25
T100 à l'horizon 2100	4,90	0,60	0,07	0,02	5,59

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer totaux (en m IGN 69) retenus à Marck

Dynamique de submersion

Pour les deux événements modélisés, la digue bordant les marais empêche l'entrée de la mer sur les terres, l'inondation reste en conséquence confinée à la zone des marais. Les hauteurs d'eau maximales sont élevées dans les petits bassins, et les vitesses maximales sont élevées entre les bassins, aboutissant à un aléa globalement fort dans la zone de marais à l'Est. L'aléa est plus faible sur le côté Ouest et au plus près de la digue. Pour le scénario moyen intégrant le changement climatique, l'inondation se propage davantage vers l'Ouest des marais que pour le scénario moyen, et les écoulements vers le Sud viennent se bloquer contre la digue.

Calais – débordement de quais portuaires et rupture d'ouvrage

Hypothèses

Les niveaux marins statiques extrêmes retenus

Les niveaux marins à Calais ont été extraits des chroniques enregistrées au marégraphe, le port de Calais étant un port de référence. La chronique d'acquisition des données s'étend du 23/04/1985 au 17/06/2008. La chronique présente 42,6% de lacunes, soit une durée utile de 13,3 années.

	Niveau extrême de pleine-mer
T10	4,77
T100	5,04

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer (en m IGN 69) retenus à Calais

Les niveaux marins totaux retenus

Une élévation du niveau marin liée au réchauffement climatique prise en compte en 2013 de 0,20 m a été ajoutée au niveau de pleine-mer centennal. Pour la modélisation du scénario moyen incluant le changement climatique, une surcote supplémentaire de 0,40 m a été ajoutée afin d'obtenir une élévation moyenne de 0,60 m, conforme au scénario pessimiste établi par l'ONERC.

Le débordement étudié se situant à l'intérieur des infrastructures portuaires, c'est-à-dire à l'abri de la houle, aucune surcote de déferlement n'est considérée pour ce site.

	Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Surcote de déferlement	Incertitude sur le calcul de la surcote de déferlement	Niveau extrême de pleine-mer total retenu
T10	4,77	-	-	-	4,77
T100	5,04	0,20	-	-	5,24
T100 à l'horizon 2100	5,04	0,60	-	-	5,64

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer totaux (en m IGN 69) retenus à Calais

Dans le cadre de la DI, il a été considéré que l'écluse de dix mètres séparant le bassin des Chasses du port est ouverte. Le niveau marin à pleine-mer sera donc supérieur à 5,45 m CM dans le bassin des Chasses pour le scénario moyen intégrant le changement climatique. Ainsi, conformément au protocole de gestion des crues, les pompes de la station des Pierrettes, à l'autre extrémité du bassin, sont arrêtées.

Modélisation avec écluse ouverte

Modélisation du bassin des Chasses et des canaux

La bathymétrie dans le port et dans le bassin des Chasses est fixé à -3 m IGN69. Le niveau de l'écluse de dix mètres ouverte est à -2,755 m, défini d'après les plans de l'ouvrage.

Afin de modéliser au mieux la propagation de l'inondation dans le canal et dans le Sud de la zone, le canal des Pierrettes (qui se prolonge vers le Sud sous les noms de rivière Neuve puis canal du Haut Banc) est dans cette version prise en compte dans un modèle 1D couplé au modèle 2D, de même que la rivière d'Hames Boucres, son affluent en amont de la voie ferrée.

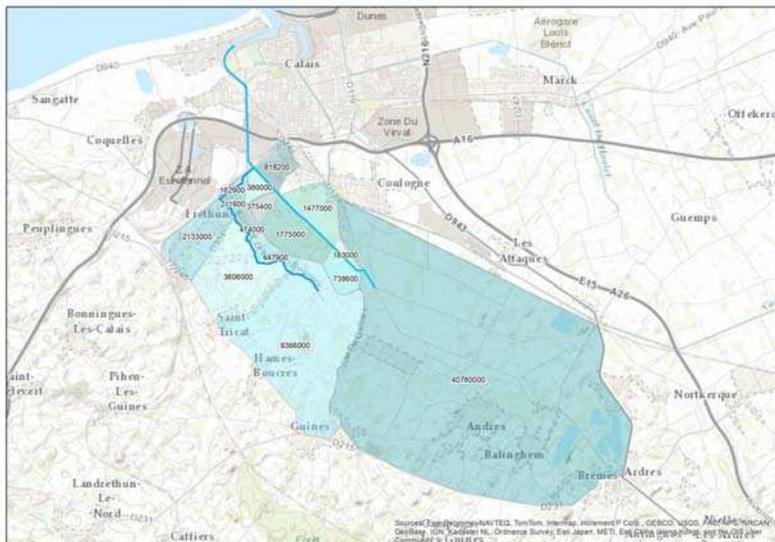
La limite amont du canal des Pierrettes est couplée avec le modèle 2D au niveau du bassin des Chasses, à quelques mètres en aval de l'ouvrage des Pierrettes. L'aval du canal des Pierrettes est considéré sur la station de pompage de Balinghem, située à plus de 10 km de la voie ferrée, permettant d'y imposer une limite fermée sans que cela influence l'inondation en aval. Les profils en travers levés sur le terrain permettent de représenter la géométrie du canal jusqu'à ce point. Ils sont complétés par des profils extraits des données LIDAR, avec un espacement de 100 m du bassin des Chasses au passage sous la voie ferrée, et de 200 m au-delà.

La structure de la rivière d'Hames Boucres est définie par des profils extraits des données LIDAR, avec un espacement de 200 m sur le premier kilomètre en amont de la voie ferrée puis de 500 m au-delà.

Le niveau d'eau initial dans le canal des Pierrettes et la rivière d'Hames Boucres est imposé à -0,755 m IGN69, niveau inférieur au niveau de déclenchement des pompages et conseillé par l'Institution Interdépartementale des Wateringues.

Les données Lidar n'étant pas disponibles ou de qualité insuffisante pour étendre suffisamment le modèle en amont de la voie ferrée, le canal des Pierrettes n'est pas couplé au modèle 2D sur cette partie. Un modèle à casiers a été développé afin de restituer les inondations sur cette partie du canal. Cette représentation permet d'établir une courbe de tarage fiable en limite de modèle couplé 1D/2D, permettant d'établir des zones inondables fiables sur les secteurs d'intérêt. Quinze casiers ont été définis selon leur altitude et les remblais (routes) pouvant cloisonner et régir les interactions entre casiers. Ainsi, pour chaque casier représentant une zone considérée comme homogène et de surface connue, un volume d'eau est calculé, représentatif du stockage de l'inondation sur cette zone. Des échanges sont possibles entre casiers, si le niveau d'eau stocké atteint la côte de débordement du remblai entre deux casiers (établi par les données Lidar).

Schéma des délimitations des casiers et leur surface (en m²)



Représentation des ouvrages du canal des Pierrettes

L'ouvrage des Pierrettes, situé à l'Ouest du bassin des Chasses, est composé de 4 vannes qui sont fermées à marée montante et peuvent s'ouvrir à marée descendante si le niveau d'eau dans le canal est supérieur à celui du bassin des Chasses de 10 cm, permettant ainsi d'abaisser le niveau du canal en cas de crue ou d'évacuer l'eau introduite par submersion. Cette régulation a été prise en compte dans la modélisation.

Cet ouvrage ayant une altitude de 2,38 m IGN69, il est submergé par le niveau marin centennal déterminé sur cette zone. Il est donc représenté au même point dans le modèle 1D, en plus du système d'ouverture et de fermeture des vannes, un seuil permettant le passage de l'eau au-dessus de l'ouvrage vers le canal.

Le canal des Pierrettes s'étend jusqu'à l'écluse carrée représentée par un passage en siphon du canal des Pierrettes sous le canal de Guînes, sur une hauteur de 90 cm et une largeur de 4,23 m. Les données géométriques et altimétriques ont été fournies par VNF.

Le passage sous la voie ferrée est une conduite rétrécissant la section du canal, ses dimensions ont été estimées à une longueur de 50 m, une largeur de 15 m et une hauteur de 3,54 m. Le niveau haut de la conduite est fixé à 1 m IGN69. En cas d'élévation importante de la ligne d'eau dans le canal, ce passage conditionne l'hydrodynamique en aval de cette zone.

Ces hypothèses prises en compte pour la modélisation de la submersion marine sur le site de Calais sont construites sur la base du scénario moyen. Elles sont également justifiées pour le scénario moyen intégrant le changement climatique.

Dynamique de submersion

Le niveau d'eau au sud du bassin des Chasses atteint la côte de l'ouvrage des Pierrettes 3h avant la pleine mer. 2h15 avant la pleine-mer, l'eau déborde également par le Sud du bassin des Chasses, sur le parking, pour revenir dans le canal des Pierrettes de l'autre côté de l'écluse, avec les débits maximum du modèle 2D vers le 1D et inversement. Les débits du canal vers les terrains en 2D sont localisés sur la portion de canal représentant le bassin des Chasses en aval de la station des Pierrettes (sur 5 m), et les premiers mètres en amont de la station. Rapidement, le niveau d'eau dans le canal des Pierrettes augmente de manière à ce que les débordements s'effectuent alors du modèle 1D vers le 2D.

1h15 avant la pleine mer, les premiers débordements du canal des Pierrettes apparaissent au Nord de la voie ferrée, par les points bas des deux rives, puis en rive droite au nord de l'Avenue Pierre de Coubertin et en rive gauche légèrement au Sud.

Les débordements au Nord restent localisés près du canal des Pierrettes, ceux en rive droite inondent la voie ferrée. Les débordements au Sud se propagent à l'Ouest jusqu'au remblai formé par une route, et à l'Est jusqu'à la voie ferrée. Sur cette zone au Nord de la voie ferrée, un important volume d'eau est stocké, d'où le classement en aléa fort pour la simulation T100. L'A16 forme un remblai bloquant les écoulements de part et d'autre.

Blériot-Plage – rupture du cordon dunaire

Hypothèses

Les niveaux marins statiques extrêmes retenus

Les niveaux marins extrêmes à Blériot-Plage ont été extraits des cartes du SHOM 2008 et 2012 pour les périodes de retour fréquente et moyenne.

Le niveau retenu pour les événements fréquent et moyen est celui du SHOM 2012, plus fort que celui du SHOM 2008 sur le site de Blériot-Plage.

Niveau extrême de pleine-mer

T100

5,10

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer (en m IGN 69) retenus à Blériot-Plage

Les niveaux marins totaux retenus

Une élévation du niveau marin liée au réchauffement climatique prise en compte en 2013 de 0,20 m a été ajoutée au niveau de pleine-mer centennal. Pour la modélisation de l'événement moyen intégrant le changement climatique, une surcote supplémentaire de 0,40 m a été ajoutée afin d'obtenir une élévation moyenne de 0,60m conforme au scénario pessimiste établi par l'ONERC.

Le calcul de la surcote de déferlement liée aux niveaux marins précédemment exposés est effectué par propagation de la houle au travers d'un modèle 1D.

L'incertitude sur les hypothèses de calcul de la surcote de déferlement est de plus intégrée aux niveaux marins finaux.

	Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Surcote de déferlement	Incertitude sur le calcul de la surcote de déferlement	Niveau extrême de pleine-mer total retenu
T100	5,10	0,20	0,11	0,06	5,47
T100 à l'horizon 2100	5,10	0,60	0,03	0,05	5,78

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer totaux (en m IGN 69) retenus à Blériot-Plage

Les caractéristiques de la brèche

La brèche simulée dans le cordon dunaire de Blériot-Plage est d'une longueur de 100m. La cote de la crête de la dune s'effondre de 6,51 m à 5,19 m IGN 69, cote du terrain naturel à l'arrière, en 15 minutes à partir d'une heure avant la pleine-mer.

Le marégramme injecté dans cette brèche est le niveau d'eau calculé à Blériot-Plage. Il atteint donc un niveau de 5,47 m IGN69 pour le scénario d'occurrence centennale et 5,78 m IGN69 pour celui incluant le changement climatique.

Les niveaux calculés pour la période de retour T10 sont inférieurs à la cote d'arase de la brèche modélisée pour T100. La morphologie du cordon dunaire ne permet pas de formuler une hypothèse de brèche pour T10.

Aucune submersion n'est donc retenue pour T10 sur ce site.



Position de la brèche simulée à Blériot-Plage

Dynamique de submersion

Dans le cas du scénario moyen, l'inondation s'étend à partir du parking situé à l'extrémité de la rue de la mer. Elle se propage par le côté Ouest jusqu'à la rue du Fort Lapin, et par le côté Est où elle surverse par-dessus la D940 1h45 après la rupture du cordon dunaire et se propage sur le parking en rive gauche du canal des Pierrettes. L'inondation se propage également vers le Sud jusqu'à l'encontre du remblai formé par la digue Mouron, les écoulements se font alors vers l'Ouest juste en dessous des quartiers Sud et vers le Sud le long de la digue. Les aléas sont globalement faibles sur toute l'emprise de l'inondation, excepté sur le parking et les zones basses à l'Ouest de la digue Mouron.

Pour le scénario moyen intégrant le changement climatique, l'inondation s'écoule dans un premier temps librement en suivant les points bas de la topographie. Elle atteint la limite Sud de la commune où elle est contrainte par la digue Mouron 1h après l'ouverture de la brèche dans le cordon dunaire. L'eau suit ensuite cette digue vers l'Ouest jusqu'au chemin de la Française qu'elle vient surverser 2h30 après l'ouverture de la brèche et se stocke dans le bassin. À l'Est, l'inondation traverse la rue de Verdun pour submerger une partie des quais situés rive gauche du canal des Pierrettes. D'importantes hauteurs d'eau sont stockées le long de la digue Mouron, d'où un aléa fort sur tout le pourtour du terrain entouré de remblai.

Cartographie

Le risque identifié d'apparition de brèche dans la dune est limité au secteur où la dune est nettement plus étroite et plus basse, ce qui crée un passage naturel. La bande de 100 m est donc également limitée à ce secteur. Dans le sens parallèle à la côte, la bande couvre ce passage naturel, et s'étend ensuite de 100 m de chaque côté.

Sangatte – ruptures d'ouvrages

Hypothèses

Les niveaux marins statiques extrêmes retenus

Les niveaux marins extrêmes à Sangatte ont été extraits des cartes du SHOM 2008 et 2012 pour les périodes de retour fréquente et moyenne.

Le niveau retenu pour le scénario moyen est celui du SHOM 2012, plus pénalisant.

	Niveau extrême de pleine-mer
T100	5,20

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer (en m IGN 69) retenus à Sangatte

Estimation de la surcote de déferlement

Du fait de la nature des ouvrages de protection littoral, le site de Sangatte a été divisé en deux, la partie dune et la partie digue. Du fait de leur géométrie et de leur nature différentes, la surcote de déferlement est elle-aussi différente selon l'ouvrage présent.

La surcote de déferlement a pu être déterminée grâce au logiciel LITPACK.

Les niveaux marins totaux retenus

Une élévation du niveau marin liée au réchauffement climatique prise en compte en 2013 de 0,20 m a été ajoutée au niveau de pleine-mer centennal. Pour la modélisation de l'événement moyen intégrant le changement climatique, une surcote supplémentaire de 0,40 m a été ajoutée afin d'obtenir une élévation moyenne de 0,60 m, conforme au scénario pessimiste établi par l'ONERC.

L'incertitude sur les hypothèses de calcul de la surcote de déferlement est de plus intégrée aux niveaux marins finaux.

Partie Digue	Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Surcote de déferlement	Incetitude sur le calcul de la surcote de déferlement	Niveau extrême de pleine-mer total retenu
T100	5,20	0,20	0,20	0,05	5,65
T100 à l'horizon 2100	5,20	0,60	0,09	0,05	5,94

Partie Dune	Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Surcote de déferlement	Incetitude sur le calcul de la surcote de déferlement	Niveau extrême de pleine-mer total retenu
T100	5,20	0,20	0,14	0,05	5,59
T100 à l'horizon 2100	5,20	0,60	0,04	0,05	5,89

Niveaux marins extrêmes de pleine-mer totaux (en m IGN 69) retenus à Sangatte

Les caractéristiques de la brèche

Les différentes brèches simulées dans la digue de Sangatte ainsi que dans le cordon dunaire sont toutes d'une longueur de 100 m.

La cote de la crête de la digue étant constante, pour chaque brèche la cote de la crête passe de 6,11 m à 3,5 m IGN69 en 15 minutes à partir d'1h avant la pleine-mer.



Position des trois brèches simulées sur la partie Digue de Sangatte et sur la partie Dune de Sangatte

L'inondation se propageant jusqu'au canal des Pierrettes (à l'ouest de Calais), le modèle a été réalisé sur la base d'un couplage 1D/2D latéral au niveau de ce canal. Ainsi en cas de débordement dans le canal des Pierrettes, la dynamique d'inondation dans le canal sera modélisée plus finement, et les échanges seront pris en compte avec une meilleure précision qu'avec un modèle 2D seul. En effet, les côtes de débordement dans le canal sont renseignées dans les profils en travers levés tous les 100 m à partir des données Lidar. Le modèle 1D du canal prendrait donc en charge la propagation de l'inondation dans le canal et éventuellement les restitutions vers les terrains modélisés en 2D aux points bas. Le niveau initial du canal des Pierrettes est fixé à -0,755 m IGN69, (communication orale de l'Institution Interdépartementale des Wateringues).

Dynamique de submersion

Rupture du cordon dunaire

La propagation de l'inondation pour l'événement moyen est limitée par la présence de la digue Royale au sud. L'eau s'écoule alors en partie en direction de l'étang situé à l'Est de la brèche. Suite à l'ouverture de la brèche (et principalement son extrémité Ouest), une partie des écoulements se fait à l'Ouest de la digue

de Camin, et se propage sur les terrains au Nord de la partie Est de la rue Rolls avec une hauteur très faible (centimétrique). L'aléa est faible à moyen, hormis aux abords de la brèche du fait des fortes vitesses d'écoulement.

Pour l'événement moyen intégrant le changement climatique, l'inondation provoquée par la brèche du côté Ouest de la digue de Camin se propage davantage vers le Sud que pour l'événement moyen. Elle longe la digue de Camin vers le Sud et se propage vers l'Ouest par le biais du Watergang de Sangatte. Du côté Est de la digue de Camin, l'emprise de l'inondation est toujours contrôlée par la digue Royale au Sud, mais se propage davantage vers l'Est jusqu'à la rive gauche du canal des Pierrettes via le petit canal au Sud de la digue Mouron. L'aléa est faible à moyen sur l'ensemble de l'emprise de l'inondation, hormis près de la brèche et aux abords de la digue de Camin, où les hauteurs d'eau stockées sont importantes.

Rupture de digue

Trois positions de brèches distinctes ont été étudiées pour la digue de Sangatte. Ces diverses positions permettent de tenir compte de la variabilité des inondations en fonction de l'emplacement des brèches, dans la mesure où les brèches peuvent apparaître en des points quelconques de la digue. Les résultats sont alors obtenus séparément pour les trois positions de brèches. Les cartographies présentées par la suite sont les hauteurs maximales obtenues, quelle que soit la position de la brèche considérée.

Dans un premier temps l'inondation se propage librement en suivant la topographie du site, sans rencontrer d'obstacle majeur. 45 minutes après l'apparition de la brèche, l'extension de l'inondation est contrainte par la digue Camin, et est déjà proche de l'extension maximale sur le secteur compris entre la mer et la digue.

Les vitesses d'écoulement près de la digue deviennent temporairement faibles du fait de la présence de la digue, et le niveau d'eau monte de manière continue durant 30 minutes. 1h15 après l'apparition de la brèche, l'eau commence alors à s'écouler par-dessus la digue.

Dès lors, le niveau d'eau entre la digue et la mer évolue peu, mais l'inondation s'étend désormais progressivement en direction de Coquelles. Sa propagation est néanmoins légèrement ralentie par la présence d'une seconde digue au-delà de la digue Camin. L'inondation se propage alors en suivant les points bas topographiques, et s'étend jusqu'à Coquelles où elle est stoppée par la digue artificielle formée par l'avenue Charles de Gaulle. Néanmoins il apparaît une surverse au-dessus de cette avenue plus au Nord, au niveau de la zone commerciale, inondant le secteur proche de l'autoroute et les premiers quartiers Nord-Est de Coquelles. L'inondation se propage également au Sud-Est de la citadelle, avec de faibles hauteurs d'eau, et n'atteint pas la rue de Verdun. Les inondations au Nord continuent à se propager vers l'Est via les points bas au Sud de la digue Mouron jusqu'à atteindre les abords du canal des Pierrettes.

Pour l'événement moyen intégrant le changement climatique, l'inondation à l'Est de la digue Camin recouvre les terres à l'Ouest du bassin. Elle se propage au Sud-Est de la citadelle jusqu'à atteindre le rond-point sous l'A16, qui permet alors les écoulements sur les terrains au Sud de cette route. La propagation vers l'Est des écoulements près du rond-point provoque une entrée d'eau dans le canal des Pierrettes, en volumes faibles devant la capacité de stockage du canal avant débordement.

Cartographie

La bande de 100 m à Sangatte couvre l'ensemble du linéaire de la digue. Elle couvre également une partie de la dune, sur le linéaire où celle-ci est relativement étroite. Ce secteur longeant la dune est délimité à l'Ouest par la digue Camin, et se prolonge à l'Est de 100 m à partir du point où la dune s'élargit.

3.2.4 - Limite de validité des cartes

Les cartes ont été créées pour une **échelle de validité de 1/ 25 000^{ème}**. L'utilisateur est ainsi invité à conserver l'échelle du 1/25 000^{ème}, car les données ne permettent pas de réaliser une cartographie fiable à une échelle plus précise.

3.3 - Carte de synthèse des surfaces inondables

La carte de synthèse du TRI de Calais correspond aux zones de submersion marine.

Il s'agit d'une carte restituant la synthèse des surfaces inondables de l'ensemble des scénarios (fréquent, moyen – avec et sans changement climatique – et extrême) considérés pour le TRI. Ce sont les limites des surfaces inondables qui sont ainsi représentées sur cette carte.

Son échelle de validité est le 1/ 25 000^{ème}.

4 - Cartographie des risques d'inondation du TRI de Calais

La cartographie des risques d'inondation est construite à partir du croisement entre les cartes de synthèse des surfaces inondables et les enjeux présents au sein de ces enveloppes. De fait, une unique carte de synthèse a été établie pour l'ensemble des débordements de cours d'eau.

Une estimation de la population permanente et des emplois a été comptabilisée par commune et par scénario. Celle-ci est complétée avec la population communale totale moyenne à l'échelle de la commune.

Son échelle de validité est le 1/ 25 000^{ème}.

4.1 - Méthode de caractérisation des enjeux

L'élaboration des cartes de risques s'est appuyée sur un système d'information géographique (SIG) respectant le modèle de données établi par l'IGN et validé par la commission de validation des données pour l'information spatialisée (COVADIS)¹².

Certaines bases de données ont été produites au niveau national. D'autres données proviennent d'informations plus locales, via des bases de données régionales ou directement des communes, suites aux retours des élus entre juillet et septembre 2013.

4.2 - Type d'enjeux caractérisés pour la cartographie des risques

L'article R. 566-7 du Code l'environnement demande tenir compte a minima des enjeux suivants :

1. Le nombre indicatif d'habitants potentiellement touchés ;
2. Les types d'activités économiques dans la zone potentiellement touchée ;
3. Les installations ou activités visées à l'annexe I de la directive 2010/75/ UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles, qui sont susceptibles de provoquer une pollution accidentelle en cas d'inondation, et les zones protégées potentiellement touchées visées à l'annexe IV, point 1 i, iii et v, de la directive 2000/60/ CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau ;
4. Les installations relevant de l'arrêté ministériel prévu au b du 4° du II de l'article R. 512-8 ;
5. Les établissements, les infrastructures ou installations sensibles dont l'inondation peut aggraver ou compliquer la gestion de crise, notamment les établissements recevant du public.

¹² La Commission de Validation des Données pour l'Information Spatialisée (COVADIS) est une instance interministérielle mise en place par le MEDDE et par le ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire pour standardiser leurs données géographiques les plus fréquemment utilisées dans leurs métiers. Cette standardisation prend la forme de *géostandards* que les services doivent appliquer dès qu'ils ont à échanger avec leurs partenaires ou à diffuser sur internet de l'information géographique. Ils sont également communiqués aux collectivités territoriales et autres partenaires des deux ministères. La COVADIS inscrit son action en cohérence avec la directive INSPIRE et avec les standards reconnus.

4.3 - Sources des données relatives aux enjeux

Les enjeux retenus pour la cartographie des risques du TRI sont les suivants :

1. Estimation de la population permanente dans la zone potentiellement touchée

Il s'agit d'une évaluation de la population permanente présente dans les différentes surfaces inondables cartographiées du TRI, au sein de chaque commune. Celle-ci a été établie à partir d'un semis de points discrétisant l'estimation de la population légale INSEE 2010¹³ à l'échelle de chaque parcelle.

2. Estimation des emplois dans la zone potentiellement touchée

Il s'agit d'une évaluation du nombre d'emplois présents dans les différentes surfaces inondables, au sein de chaque commune du TRI.

3. Bâtiments dans la zone potentiellement touchée (Bâti)

Seuls les bâtiments dans la zone potentiellement touchée sont représentés dans les cartes de risque. Cette représentation est issue de la BD Topo de l'IGN (pour plus de détails : <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>). Ils tiennent compte de l'ensemble des bâtiments de plus de 20 m² (habitations, bâtiments industriels, bâtis remarquables...).

4. Types d'activités économiques dans la zone potentiellement touchée (Surface d'activité économique)

Il s'agit de surfaces décrivant un type d'activité économique incluses, au moins en partie, dans les communes situées en TRI.

En présence d'un document d'urbanisme (plan local d'urbanisme ou plan d'occupation des sols) numérisé, ce dernier a été utilisé. En l'absence d'un tel document, cette information est issue de la BD Topo de l'IGN (pour plus de détails : <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>). Elle tient compte des zones d'activités commerciales et industrielles, des zones de camping ainsi que des zones portuaires ou aéroportuaires. Ces données ont été vérifiées et rectifiées le cas échéant, suite aux rencontres avec les communes.

5. Installations polluantes

Deux types d'installations polluantes sont prises en compte : les établissements classés IED¹⁴ et les stations de traitement des eaux usées.

Les IED (ex-IPPC) sont les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) qui sont soumises à la directive IED. Il s'agit d'une donnée établie par les DREAL, collectée dans la base S3IC¹⁵ pour les installations situées dans le périmètre du TRI.

Les stations de traitement des eaux usées (STEU) prises en compte sont les installations de plus de 2 000 équivalents-habitants (EH) présentes dans les communes situées en TRI. La localisation de ces stations est issue d'une base de donnée nationale « BD ERU¹⁶ ».

6. Zones protégées pouvant être impactées par des installations polluantes (Limite de zones de protection naturelle)

Il s'agit des zones protégées pouvant être impactées par des installations IED ou par des stations de traitement des eaux usées. Ces zones, rapportées dans le cadre de la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE (DCE), sont les suivantes :

- « zones de captage » : zones désignées pour le captage d'eau destinée à la consommation humaine en application de l'article 7 de la directive 2000/60/CE (toutes les masses d'eau utilisées pour le

¹³ Données issues de l'INSEE. Les populations légales millésimées 2010 entrent en vigueur le 1^{er} janvier 2013. Elles ont été calculées conformément aux concepts définis dans le décret n° 2003-485 du 5 juin 2003. Leur date de référence statistique est le 1^{er} janvier 2010.

¹⁴ Au sens de la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, dite « directive IED »

¹⁵ S3IC : Système d'information de l'inspection des installations classées. S3IC (ou SIIIC) est un logiciel professionnel de gestion des ICPE

¹⁶ BD ERU : Base de données sur les eaux résiduelles urbaines

captage d'eau destinée à la consommation humaine fournissant en moyenne plus de 10 m³ par jour ou desservant plus de cinquante personnes, et les masses d'eau destinées, dans le futur, à un tel usage) ;

- « eaux de plaisance » : masses d'eau désignées en tant qu'eaux de plaisance, y compris les zones désignées en tant qu'eaux de baignade dans le cadre de la directive 76/160/CEE (« eaux de baignade » : eaux ou parties de celles-ci, douces, courantes ou stagnantes, ainsi que l'eau de mer, dans lesquelles la baignade est expressément autorisée par les autorités compétentes de chaque État membre ou n'est pas interdite et habituellement pratiquée par un nombre important de baigneurs) ; en France les « eaux de plaisance » se résument aux « eaux de baignade » ;
Cette base nationale a été amendée, le cas échéant, suite aux rencontres avec les communes.
- « zones de protection des habitats et espèces » : zones désignées comme zone de protection des habitats et des espèces et où le maintien ou l'amélioration de l'état des eaux constitue un facteur important de cette protection, notamment les sites Natura 2000 pertinents désignés dans le cadre de la directive 92/43/CEE et de la directive 79/409/CEE.

7. Établissements, infrastructures ou installations sensibles dont l'inondation peut aggraver ou compliquer la gestion de crise, notamment les établissements recevant du public

Il s'agit des enjeux situés dans les communes situées en TRI, dont la représentation est issue de la BD Topo de l'IGN (pour plus de détails : <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>). Cette catégorie d'enjeux a été affinée suite aux rencontres avec les élus entre mai et août 2013.

Elle a été subdivisée en plusieurs catégories :

- les bâtiments utiles pour la gestion de crise (centres de décisions, centres de sécurité et de secours) référencés « établissement utile à la gestion de crise », sont concernés les casernes, les gendarmeries, les mairies, les postes de police, les préfetures. La catégorie « Autre » comprend notamment les salles pouvant être utiles pour la gestion de crise
- les bâtiments et sites sensibles pouvant présenter des difficultés d'évacuation, ils sont référencés dans : « Établissements hospitaliers », « Établissements d'enseignement », « Campings », « Établissements pénitentiaires ».
- les réseaux et installations utiles pour la gestion de crise, ils sont référencés dans : « Gare », « Aéroport – Aérodrome », « Autoroute, quasi-autoroute », « Route, liaison principale », « Voie ferrée principale » .
- les établissements ou installations susceptibles d'aggraver la gestion de crise, ils sont référencés dans : « installation d'eau potable », « transformateur électrique », « autre établissement sensible à la gestion de crise » (cette dernière catégorie recense principalement les installations SEVESO et les installations nucléaires de base).
- « Autres », catégorie qui comprend les enjeux recensés suite aux rencontres avec les élus, mais ne rentrant pas dans les autres catégories, en particulier les administrations et les médiathèques (bâtiments et sites sensibles pouvant présenter des difficultés d'évacuation) et les salles pouvant être utiles pour la gestion de crise.

8. Patrimoine culturel

Ensemble des sites inscrits ou classés au titre des monuments historiques. Bien que tous recensés, seuls les enjeux de type « ponctuel » ont été représentés sur la carte « Risques ».

5 - Liste des Annexes

Annexe I : Atlas cartographique

- Cartes des surfaces inondables de chaque scénario (fréquent, moyen – avec et sans changement climatique – et extrême) pour la submersion marine (4 cartes au format A0)
- Carte de synthèse des surfaces inondables des différents scénarios pour la submersion marine (1 carte au format A0)
- Carte des risques d'inondation : Croisement des enveloppes de surfaces inondables (aléas) et des enjeux (1 carte au format A0)

Annexe II : Compléments méthodologiques

- Fiche d'identification du standard de données COVADIS Directive Inondation
Pour en savoir plus : <http://www.cnig.gouv.fr/Front/index.php?RID=154>

Annexe II : Compléments méthodologiques



COMMISSION DE VALIDATION DES DONNEES POUR L'INFORMATION SPATIALISEE



Fiche d'identification du standard

Nom	Standard de données COVADIS : Directive inondation
Description du contenu	<p>Le géostandard Directive inondation décrit le socle des données géographiques produites sur les 120 territoires à risque important d'inondation (TRI) et cartographiées aux fins de rapportage pour la directive européenne sur les inondations.</p> <p>La Directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation (JOUE L 288, 06-11-2007, p.27) influence la stratégie de prévention des inondations en Europe, puisqu'elle impose la production de plan de gestion des risques d'inondations sur chaque district hydrographique.</p> <p>L'article 1 de la directive inondation précise son objectif qui est d'établir un cadre pour l'évaluation et la gestion des risques d'inondation, qui vise à réduire les conséquences négatives des inondations sur la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique.</p> <p>Les objectifs et exigences de réalisation sont donnés par la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (LENE) et le décret du 2 mars 2011. Dans ce cadre, l'objectif premier de la cartographie des surfaces inondables et des risques d'inondation pour les TRI est de contribuer, en homogénéisant et en objectivant la connaissance de l'exposition des enjeux aux inondations, à la rédaction des plans de gestion des risques d'inondation (PGRI), à la définition des objectifs de ce plan et à l'élaboration des stratégies locales par TRI.</p> <p>Ainsi le présent géostandard vise-t-il à :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. homogénéiser la production des données utilisées pour les cartes des surfaces inondables et des risques d'inondation, 2. faciliter la mise en place d'un SIG sur chaque TRI. Ce SIG Directive inondation doit devenir une référence vivante pour la connaissance des aléas et des risques d'inondation sur ces TRI et sera utilisé en vue d'établir les plans de gestion des risques d'inondation. Les SIG des TRI seront intégrés dans un SIG commun national.
Thème principal	<p>Au sens de la norme ISO19115, les données traitées dans ce standard se classent dans 3 catégories :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Environnement • Planification/Cadastre • Société
Lien avec un thème INSPIRE	Directive INSPIRE, Annexe 3, thème 12, zone à risque naturel
Zone d'application	Applicable à tout le territoire de l'UE (rivières, zones côtières) y compris DOM
Objectif des données standardisées	<p>Les données standardisées vont être principalement utilisées dans trois cas :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Constitution des PGRI et élaboration des stratégies locales par TRI <p>La finalité de la directive inondation est de contribuer à la gestion et à la réduction du risque d'inondation. Les cartographies élaborées s'inscrivent dans le processus menant à l'élaboration des PGRI dont elles constituent une étape préparatoire.</p> <p>En représentant les aléas d'inondation et les enjeux qui y sont exposés à une échelle appropriée, la cartographie devra, parmi d'autres éléments, servir de support pour identifier des objectifs de réduction du risque puis des mesures pertinentes possibles pour gérer le risque, essentiellement à l'échelle du PGRI. L'objectif de cette étape de cartographie est d'apporter des éléments quantitatifs permettant d'évaluer plus finement la vulnérabilité d'un territoire pour 3 niveaux de probabilité d'inondation.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Contribuer au porter à connaissance de l'État <p>La cartographie constitue un enrichissement de la connaissance complémentaire aux éléments existants (PPRI). Son intégration au porter à connaissance est obligatoire. A l'instar des atlas de zones inondables (AZI), elles contribueront à la prise en compte du risque dans les documents d'urbanisme et à l'application du droit des sols, par l'Etat et les collectivités territoriales, selon des modalités à adapter à la précision des cartes et au contexte local, et ceci surtout en l'absence de PPRI ou d'autres documents de référence à portée juridique.</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Développer la culture du risque <p>Les cartes seront largement diffusées dans un souci de transparence sur l'application de la directive, et constituent aussi un outil de communication et d'information vers le public, dans un objectif de développement de la culture du risque.</p>

Version 1.0 – 26 septembre 2012

Type de représentation spatiale	Les données géographiques concernées sont de nature vectorielle
Résolution, niveau de référence	<p>Les données définies par ce standard ont une résolution qui est fonction de leur nature et leur mode d'acquisition. Elles disposent a minima d'une résolution de 25000, car les cartes produites pour le rapportage ont pour échelle de 1:25000.</p> <p>Certaines données descriptives des zones inondables peuvent toutefois présenter une meilleure résolution, inférieure à 25000.</p> <p>La maîtrise d'ouvrage des SIG Directive inondation est confiée aux DREAL Le niveau régional représente le niveau de référence pour les données sur les TRI : cela signifie que les DREAL sont les fournisseurs de référence de ces données. (Ce sont elles qui disposent des données les plus à jour.)</p>