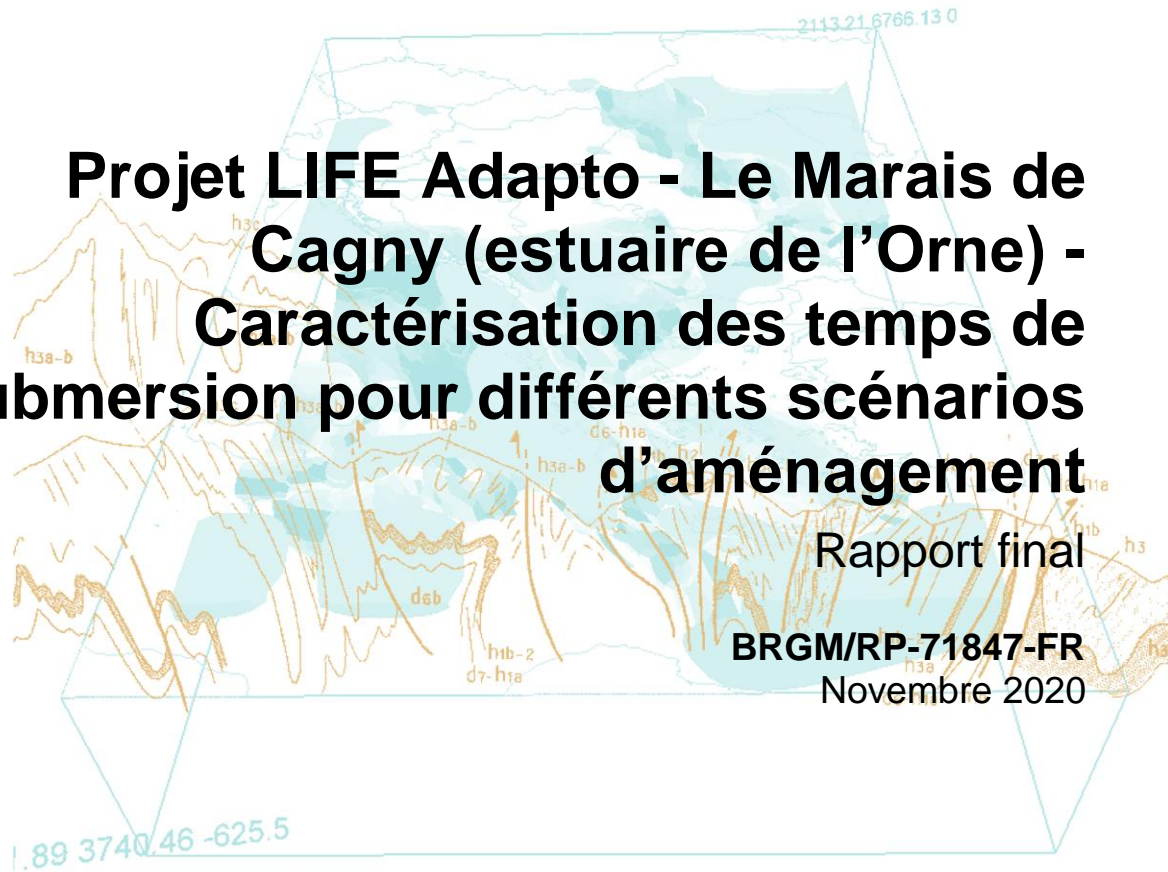




# Projet LIFE Adapto - Le Marais de Cagny (estuaire de l'Orne) - Caractérisation des temps de submersion pour différents scénarios d'aménagement

Rapport final

BRGM/RP-71847-FR  
Novembre 2020





# Projet LIFE Adapto - Le Marais de Cagny (estuaire de l'Orne) - Caractérisation des temps de submersion pour différents scénarios d'aménagement

Rapport final

**BRGM/RP-71847-FR**

Novembre 2020

Étude réalisée dans le cadre des projets de Recherche du BRGM 2020-RP16DRP088

**M. Garcin, O. Brivois**

**Vérificateur :**

Nom : C. Capderrey

Fonction : Ingénieur, DRP/R3C

Date : 13/12/2022

Signature :



**Approbateur :**

Nom : E. David

Fonction : Responsable unité DRP/R3C

Date : 10/02/2023

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)







**Mots-clés** : adaptation, changement climatique, marais, dépoldérisation, submersibilité, hydro-périodicité, ADAPTO, LIFE, Orne, Calvados, France

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Garcin M., Brivois O.** (2022) – Projet LIFE Adapto - Le Marais de Cagny (estuaire de l'Orne) – Caractérisation des temps de submersion pour différents scénarios d'aménagement. BRGM/RP-71847-FR, 42 p., 21 fig., 8 tabl., 1 ann.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Depuis quelques années, l'estuaire de l'Orne fait l'objet de réflexions, menées par le Conservatoire du Littoral et l'ensemble des acteurs locaux, afin de le rendre plus résilient au changement climatique. Le site du Marais de Cagny, constitue l'un des 10 sites traités dans le cadre du projet LIFE – Adapto. Ce site est situé dans la partie aval de l'estuaire de l'Orne et subi l'influence des marées. La digue, séparant le marais du lit mineur de l'Orne, connaît aujourd'hui des surverses régulières lors des grandes marées et a déjà été affecté par des brèches lors d'épisodes de crues. A terme, à cause notamment de l'élévation du niveau marin, cet ouvrage deviendra obsolète et ne pourra plus jouer son rôle de protection. Maintenir son rôle de protection dans le futur impliquerait de le surélever, de le maintenir et d'en assurer un entretien impliquant un coût financier important. Une alternative serait d'accroître les zones d'expansion des crues et des marées, en effaçant certaines digues et en reconnectant d'anciens polders à la mer (reconnexion en cours des Terrains François par exemple).

Ce rapport présente des éléments de prospective utiles pour anticiper et planifier l'adaptation au changement climatique du Marais de Cagny. Il s'agit plus particulièrement d'évaluer la submersibilité des terrains du Marais de Cagny en fonction de plusieurs scénarios d'aménagement et de désengagement (effacement de digues) du Marais.

Dans cette étude nous avons analysé la submersibilité des terrains pour quatre scénarios d'aménagement et pour trois niveaux marins (niveau marin actuel, remontée du niveau marin de +20 cm vers 2030, remontée du niveau marin de +40 cm vers 2050).

Plusieurs approches de la submersibilité du marais de Cagny ont été réalisées pour ces quatre scénarios et pour ces trois périodes :

### 1) L'inondabilité des terrains sous deux formes :

A) Une cartographie de l'hydro-périodicité c'est-à-dire du pourcentage de temps par an (ou du nombre de jours par an) durant lequel les terrains subissent une immersion induite par la marée (submersion temporaire lors des pleines-mer).

B) Les extensions de la submersion induite lors des pleines-mers pour des coefficients type (45, 70, 95 et 120) qui correspondent aux limites des différents écosystèmes constituant le marais maritime. A partir de ces limites, il est possible d'établir des cartographies des écosystèmes futurs susceptibles de se maintenir ou de se développer en fonction des scénarios d'aménagement. Ces éléments constituent une information utile pour choisir le scénario qui sera le plus adapté aux objectifs visés par les gestionnaires.

2) Les effets d'un événement marin extrême (niveau d'eau centennal) sur l'extension de la submersion potentiellement induite. La cartographie des zones inondables est réalisée pour la période actuelle, avec un niveau marin de +20 cm (vers 2030) et de +40 cm (vers 2050).

Ces résultats et cartographies constituent des éléments portés à la connaissance des gestionnaires de cet espace. Ils permettent d'engager des réflexions sur les impacts des choix d'aménagement qui seront faits aussi bien pour la prise en compte des risques de submersion que de leurs effets sur les écosystèmes.



# Sommaire

<b>Synthèse</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	<b>9</b>
<b>1. Le site du Marais de Cagny</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Généralités</b>	<b>9</b>
<b>1.2. Objectifs</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Les scénarios d'aménagement</b>	<b>11</b>
1.3.1. Scénario A (préservation)	11
1.3.2. Scénario B1 (ouverture modérée)	11
1.3.3. Scénario B2 (ouverture contrôlée)	12
1.3.4. Scénario C (ouverture totale)	12
<b>1.4. Analyses réalisées selon les scénarios</b>	<b>16</b>
<b>1.5. Cartographie de la durée de submersion</b>	<b>16</b>
1.5.1. Méthode	16
1.5.2. Traitement marégraphique	17
(i) Préparation des données	17
(ii) Traitement des marégrammes créés	18
1.5.3. Traitement des MNT	19
1.5.4. Création des cartes de submersion	20
1.5.5. Les résultats	20
(i) Scénario A (préservation)	20
(ii) Scénario B1 (ouverture modérée)	21
(iii) Scénario B2 (ouverture contrôlée)	21
(i) Scénario C (ouverture totale)	21
<b>1.6. Cartographie des limites d'extension de l'hydro-périodicité en fonction des coefficients de marée - impact sur les limites des écosystèmes du marais de Cagny</b>	<b>26</b>
1.6.1. Méthode	27
1.6.2. Les résultats	30
(ii) Scénario B1 (ouverture modérée)	30
(iii) Scénario B2 (ouverture contrôlée)	31
(iv) Scénario C (ouverture totale)	32
<b>1.7. Cartographie de l'extension des submersions et des hauteurs d'eau lors des événements extrêmes</b>	<b>33</b>
1.7.1. Source des données	33
1.7.2. Méthode	33
1.7.3. Résultats	34
(i) Scénario A (préservation)	34
(i) Scénario B1 (ouverture modérée)	34
(ii) Scénario B2 (ouverture contrôlée)	34
(iii) Scénario C (ouverture totale)	34
<b>2. Conclusion</b>	<b>38</b>
<b>3. Références</b>	<b>39</b>
<b>3.1. Bibliographie</b>	<b>39</b>

<b>3.2. Ressources</b>	<b>39</b>
<b>4. Annexe 1</b>	<b>41</b>

## Liste des figures

<i>Figure 1 : Principales actions du projet Adapto et localisations de 10 sites du projet (d'après <a href="http://www/lifeadapto.eu/">http://www/lifeadapto.eu/</a>) ; le site du Marais de Cagny dans l'estuaire de l'Orne est représenté en rouge sur la carte</i>	9
<i>Figure 1 : Localisation du site du Marais de Cagny en rive droite de l'estuaire de l'Orne (fond Ortholittoral v2)</i>	10
<i>Figure 2 : Digue maintenues et digues en libre évolution du Scénario B1 (ouverture modérée) (à gauche); Scénario B2 (ouverture contrôlée) (à droite)</i>	12
<i>Figure 3 : Evolution de la morphologie, de l'occupation du sol et de l'anthropisation de l'estuaire de l'Orne et de ses marges entre 1837 et 2012 (à gauche : occupation du sol 1837 : BRGM ; carte topographique de 1837 ; à droite : occupation du Corine Land Cover modifiée, fond ortholittoral v2)</i>	15
<i>Figure 4 : Méthode suivie et données utilisées pour la réalisation des cartes d'hydro-périodicité</i>	17
<i>Figure 5 : Marégramme sur le Marais de Cagny en 2015 (SHOMAR, © SHOM)</i>	18
<i>Figure 6 : Paramètres hydrographiques concernant Ouistreham (extrait des Références Altimétriques Maritimes, Shom 2017)</i>	18
<i>Figure 7 : Nombre de jours et pourcentage de temps de submersion par an (%) sur le Marais de Cagny en fonction de l'altitude (actuelle, vers 2030 (+ 20 cm de niveau marin) et vers 2050 (+40 cm de niveau marin)</i>	19
<i>Figure 8 : MNT du site du Marais de Cagny à 1 m de résolution (source : LIDAR IGN)</i>	20
<i>Figure 9 : Scénario B1 (ouverture modérée), de gauche à droite hydro-périodicité actuelle, vers 2030, vers 2050</i>	23
<i>Figure 10 : Scénario B2 (ouverture contrôlée), de gauche à droite hydro-périodicité actuelle, vers 2030, vers 2050</i>	24
<i>Figure 11 : Scénario C (ouverture totale), de gauche à droite hydro-périodicité actuelle, vers 2030, vers 2050</i>	25
<i>Figure 12 : Exemple de zonation des écosystèmes d'un marais maritime en fonction des limites de coefficient de marée</i>	26
<i>Figure 13 : Méthode suivie pour la cartographie de l'extension de la submersion selon les coefficients de marée en fonction des scénarii d'aménagement et des scénarios de remontée du niveau marin</i>	27
<i>Figure 14 : Relations entre le coefficient de marée, le niveau d'eau et l'hydro-périodicité (% de temps d'immersion par an)</i>	28
<i>Figure 15 : Enveloppe des hauteurs de pleine mer (NGF) par coefficient de marée en 2015</i>	28
<i>Figure 16 : Scénario B1 (ouverture modérée) : Evolution potentielle de l'extension des écosystèmes. De gauche à droite : actuel, en 2030, en 2050.</i>	30
<i>Figure 17 : Scénario B2 (ouverture contrôlée) : Evolution potentielle de l'extension des écosystèmes. De gauche à droite : actuel, en 2030, en 2050.</i>	31
<i>Figure 18 : Scénario C (ouverture totale) : Evolution potentielle de l'extension des écosystèmes. De gauche à droite : actuel, en 2030, en 2050.</i>	32
<i>Figure 19 : Scénario B1 (ouverture modérée) : Hauteur de submersion (m) lors de l'occurrence d'un événement centennal (actuel, en 2030, en 2050)</i>	35
<i>Figure 20 : Scénario B2 (ouverture contrôlée) : Hauteur de submersion (m) lors de l'occurrence d'un événement centennal (actuel, en 2030, en 2050)</i>	36
<i>Figure 21 : Scénario C (ouverture totale) : Hauteur de submersion (m) lors de l'occurrence d'un événement centennal (actuel, en 2030, en 2050)</i>	37

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Les analyses et cartographies réalisées pour chaque scénario (NM : niveau marin)</i>	16
<i>Tableau 2 : Coefficients de marée et limites des écosystèmes du marais littoral retenus dans cette étude</i>	26
<i>Tableau 3 : Hauteurs actuelles minimales, maximales et moyennes (m NGF) des pleines-mer (PM) par incrément de 5 du coefficient de marée.</i>	29

<i>Tableau 4 : Niveaux moyens des pleines-mer (m NGF) actuelles, en 2030 et en 2050 utilisés pour la réalisation des cartographies</i>	29
<i>Tableau 5 : Niveaux d'eau de période de retour 10, 100 et 1000 ans pris en compte dans le PPRL</i>	33
<i>Tableau 6 : Evaluation des niveaux d'eau centennaux pour la période actuelle, en 2030 et en 2050 (les niveaux millénaires ont été ajoutés à titre indicatif)</i>	34
<i>Tableau 7 : Tableau de corrélation entre les coefficients de marée, l'élévation moyenne des pleines-mers (t0, circa 2030, circa 2050) et du pourcentage de temps de submersion annuel sur le site du Marais de Cagny (Ouistreham, 14)</i>	41
<i>Tableau 8 : Tableau de corrélation par tranches d'altitude de 20 cm du nombre de jour de submersion et du pourcentage annuel du temps de submersion (T0, circa 2030, circa 2050) sur le site du Marais de Cagny (Ouistreham, 14)</i>	42

## Liste des annexes

<i>4. Annexe 1</i>	41
--------------------	----



## Introduction

Dans un contexte de changement climatique, les zones côtières basses sont potentiellement plus vulnérables à l'élévation du niveau de la mer ou aux événements climatiques extrêmes qui engendrent la submersion marine. Le projet Life ADAPTO, initié par le Conservatoire du Littoral, a pour objectif d'explorer des solutions possibles sur le littoral pour faire face aux effets du changement climatique, en intégrant les écosystèmes dans une gestion souple du trait de côte. L'objectif est de mettre en œuvre une approche pluridisciplinaire, afin de pouvoir envisager et comparer 3 modes de gestion face aux conséquences attendues de l'élévation du niveau de la mer sous l'effet du changement climatique : « Résister », « S'adapter », « Laissez-faire ». Ainsi, 10 sites pilotes aux problématiques côtières variées sont étudiés en France métropolitaine, Corse, et Guyane (Figure 1).

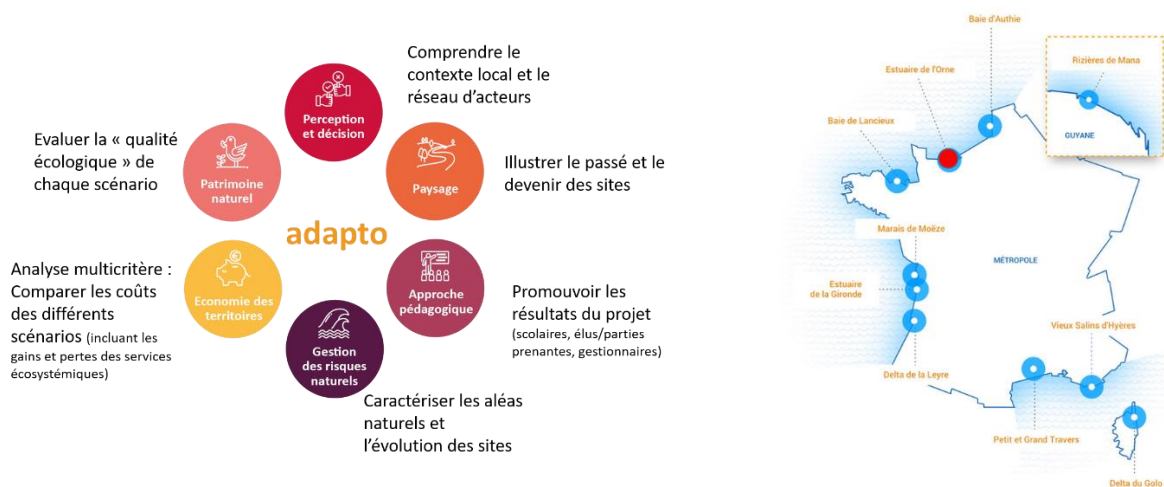


Figure 1 : Principales actions du projet Adapto et localisations de 10 sites du projet (d'après <http://www.lifeadapto.eu/>) ; le site du Marais de Cagny dans l'estuaire de l'Orne est représenté en rouge sur la carte

Les réflexions concernant la mise en œuvre de ces solutions sont à des stades d'avancement différents sur les sites. En effet, pour certains sites tels que l'île Nouvelle et les polders de Mortagne-sur-Gironde, respectivement dépoldérisés depuis 1999 et 2010, il s'agit essentiellement d'obtenir un retour d'expériences sur ces dépoldérisations. Pour d'autres sites en devenir, un accompagnement pluridisciplinaire est proposé de manière à faire émerger une stratégie prenant en compte les différents enjeux. C'est le cas du site de l'estuaire de l'Orne et plus précisément du Marais de Cagny, objet du présent rapport et présenté au paragraphe suivant.

## 1. Le site du Marais de Cagny

### 1.1. GENERALITES

Le site du Marais de Cagny géré par le Conservatoire du Littoral est situé en rive droite de l'Estuaire de l'Orne et couvre une surface de 179 hectares (Figure 2). Ce marais initialement dans

le lit majeur de l'Orne a été transformé en prairies humides pâturées, suite à la construction d'une digue au XVIIIème siècle.



Figure 2 : Localisation du site du Marais de Cagny en rive droite de l'estuaire de l'Orne (fond Ortholittoral v2)

En 2011, la digue du marais de Cagny a cédé entraînant une inondation des zones basses. De plus, lors des grandes marées, la mer dépasse occasionnellement le sommet de la digue obligeant à fermer périodiquement la piste cyclable aménagée sur la crête de l'ouvrage. Dans un contexte de changement climatique, la digue du Marais de Cagny connaîtra donc des surverses de plus en plus fréquentes, la rendant obsolète et son action de protection inutile. Cela a amené le Conservatoire du Littoral à envisager différents scénarios d'aménagement pour ce site. L'étude de ces différents scénarios est l'objet de ce rapport.

## 1.2. OBJECTIFS

Ce rapport a pour objectif de donner des éléments de prospective sur l'adaptation au changement climatique du Marais de Cagny. Il s'agit plus particulièrement d'évaluer la submersibilité des terrains du Marais de Cagny en fonction de plusieurs scénarios d'aménagement et d'effacement des digues qui protègent actuellement le marais.

Dans cette étude nous avons analysé la submersibilité des terrains pour chaque scénario d'aménagement et pour trois niveaux marins (niveau marin actuel, remontée du niveau marin de + 20 cm vers 2030, remontée du niveau marin de + 40 cm vers 2050).

Sont analysés :

1) L'inondabilité des terrains sous deux formes :

A) Une cartographie de l'hydro-périodicité c'est-à-dire du pourcentage de temps par an (ou du nombre de jours par an) durant lequel les terrains subissent une immersion induite par la marée (submersion temporaire lors des pleines-mer).

B) Les extensions de la submersion induite lors des pleines-mers pour des coefficients type (45, 70, 95 et 120). Ces cartographies sont utilisées pour analyser l'impact de ces phases d'incursions marines sur les écosystèmes et la biodiversité des terrains concernés et d'en anticiper l'évolution.

2) Les effets d'un événement marin extrême (niveau d'eau centennal) sur l'extension de la submersion potentiellement induite. La cartographie des zones inondables est réalisée pour la période actuelle, avec un niveau marin de + 20 cm (vers 2030) et de + 40 cm (vers 2050).

## 1.3. LES SCENARIOS D'AMENAGEMENT

Les scénarios sont des choix de gestion visant à orienter le projet d'adaptation du marais de Cagny face à la remontée du niveau marin induite par le changement climatique.

### 1.3.1. Scénario A (préservation)

Dans ce scénario, toutes les digues sont maintenues et rehaussées afin d'empêcher toute submersion. Afin de garantir ce niveau de protection, il est nécessaire d'évaluer pour chaque période future la hauteur des digues<sup>1</sup>. Cette évaluation tient compte :

- de la marée,
- de la remontée du niveau marin pour les périodes futures,
- des événements extrêmes dans le contexte de la remontée du niveau marin. L'approche que nous avons suivie est simplifiée et consiste à appliquer les valeurs de niveaux d'eau centennaux sur les niveaux marins futurs.

### 1.3.2. Scénario B1 (ouverture modérée)

Ce scénario vise à une remise en eau partielle du marais de Cagny. L'aval de la grande digue serait laissé en libre évolution (pas de reconstruction en cas de brèche) tandis que seraient

---

<sup>1</sup> Rappelons que les inondations par remontée de nappe en arrière des ouvrages ne sont pas prises en compte

édifiées une digue transversale amont et une digue de protection rétro-littorale devant Sallenelles (Figure 3, gauche).

### 1.3.3. Scénario B2 (ouverture contrôlée)

Ce scénario vise, comme le scénario B1, à une remise en eau partielle du marais de Cagny mais avec une configuration des digues différente.

L'aval de la grande digue serait laissé en libre évolution, tandis que seraient érigés une digue transversale amont, un déversoir en partie médiane (cote de 4,78 m NGF) et une digue de protection rétro-littorale rapprochée devant Sallenelles (Figure 3, droite).

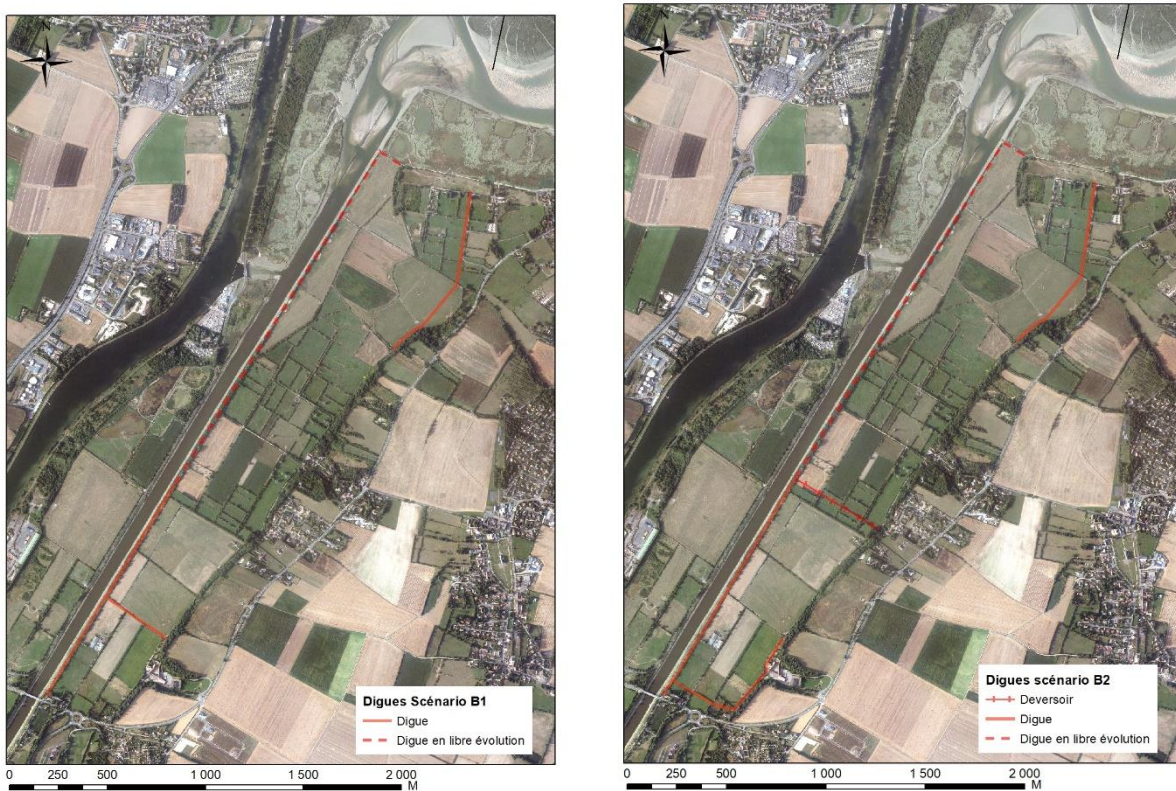


Figure 3 : Dignes maintenues et digues en libre évolution du Scénario B1 (ouverture modérée) (à gauche); Scénario B2 (ouverture contrôlée) (à droite)

### 1.3.4. Scénario C (ouverture totale)

Dans ce scénario, tout le domaine serait laissé en libre-évolution ce qui revient à terme à un effacement des ouvrages par apparition puis développement des brèches dans les digues. Celles-ci ne joueront donc plus de rôle de protection.

Les aménagements réalisés au cours des derniers siècles ont profondément modifié les paysages et les fonctionnements hydromorphosédimentaires et écologiques de l'estuaire et de ses marges (Figure 4). Ce scénario ne vise pas à revenir dans un état antérieur à l'anthropisation de l'estuaire (ce qui est illusoire) mais plutôt à restituer un fonctionnement hydrosédimentaire

naturel du site du marais de Cagny. Il implique le déplacement des enjeux en dehors des zones inondables.



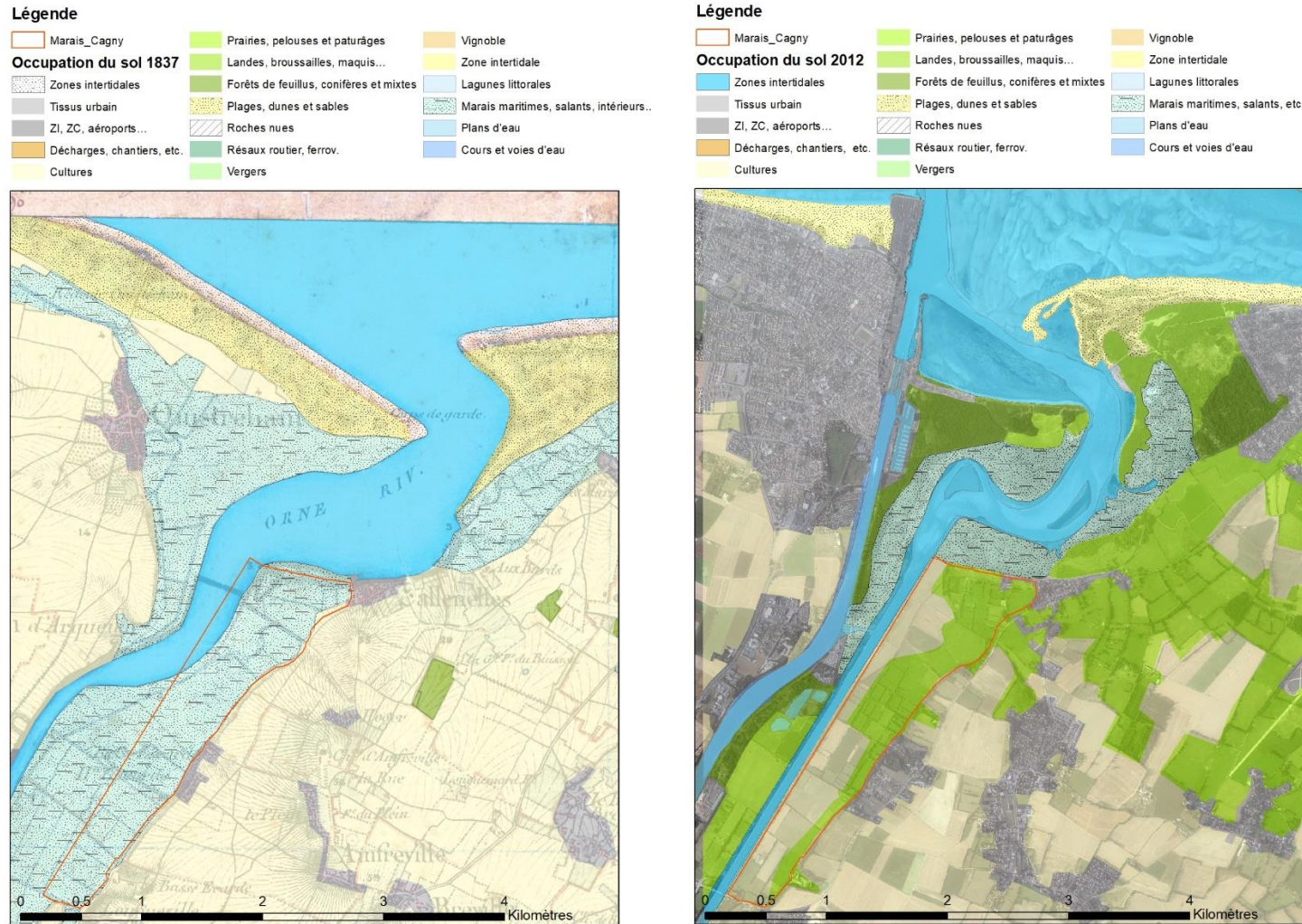


Figure 4 : Evolution de la morphologie, de l'occupation du sol et de l'anthropisation de l'estuaire de l'Orne et de ses marges entre 1837 et 2012 (à gauche : occupation du sol 1837 : BRGM ; carte topographique de 1837 ; à droite : occupation du Corine Land Cover modifiée, fond ortholittoral v2)

## 1.4. ANALYSES REALISEES SELON LES SCENARIOS

La submersion induite par la marée (hydro-périodicité) et celle induite par l'occurrence d'un événement extrême de période de retour centennale ont été évaluées (Tableau 1) pour les quatre scénarios (A, B1, B2, C) et à chaque échéance (Actuel, 2030, 2050).

Tableau 1 : Les analyses et cartographies réalisées pour chaque scénario (NM : niveau marin)

	2020		+20 cm NM (circa 2030 )		+40 cm NM (circa 2050)	
	Evènement extrême	Durée submersion fct marée	Evènement extrême	Durée submersion fct marée	Evènement extrême	Durée submersion fct marée
Scénario A : Préservation du marais de Cagny	Evaluation de la hauteur de digue nécessaire	<i>Hypothèse non concernée</i>	Evaluation de la hauteur de digue nécessaire	<i>Hypothèse non concernée</i>	Evaluation de la hauteur de digue nécessaire	<i>Hypothèse non concernée</i>
Scénario B1 : Ouverture modérée du marais de Cagny à la mer	Zone de submersion maximale et hauteur de digue 2 <sup>nd</sup> rang	Cartographie	Zone de submersion maximale et hauteur de digue 2 <sup>nd</sup> rang	Cartographie	Zone de submersion maximale et hauteur de digue 2 <sup>nd</sup> rang	Cartographie
Scénario B2 : Ouverture contrôlée du marais de Cagny à la mer	Zone de submersion maximale et hauteur de digue 2 <sup>nd</sup> rang	Cartographie	Zone de submersion maximale et hauteur de digue 2 <sup>nd</sup> rang	Cartographie	Zone de submersion maximale et hauteur de digue 2 <sup>nd</sup> rang	Cartographie
Scénario C : Ouverture totale du marais de Cagny à la mer	Zone de submersion maximale	Cartographie	Zone de submersion maximale	Cartographie	Zone de submersion maximale	Cartographie

## 1.5. CARTOGRAPHIE DE LA DUREE DE SUBMERSION

### 1.5.1. Méthode

La méthode suivie pour l'élaboration des cartes d'hydro-périodicité est constituée par plusieurs tâches qui sont détaillées dans la Figure 5. Les données qu'elle nécessite en entrée sont :

- les données marégraphiques sur le secteur d'étude,
- des hypothèses sur la valeur de la remontée du niveau marin aux deux échéances futures envisagées (2030 et 2050),
- des données topographiques à haute résolution (LIDAR),
- les données ayant trait aux hypothèses sur les choix d'aménagements (position et élévation des digues, digues laissées en libre évolution, déversoirs, etc.).

Les données numériques ont été traitées sous Excel (© Microsoft) tandis que les données spatiales géoréférencées l'ont été à l'aide d'un système d'information géographique (ArcGIS © Esri).

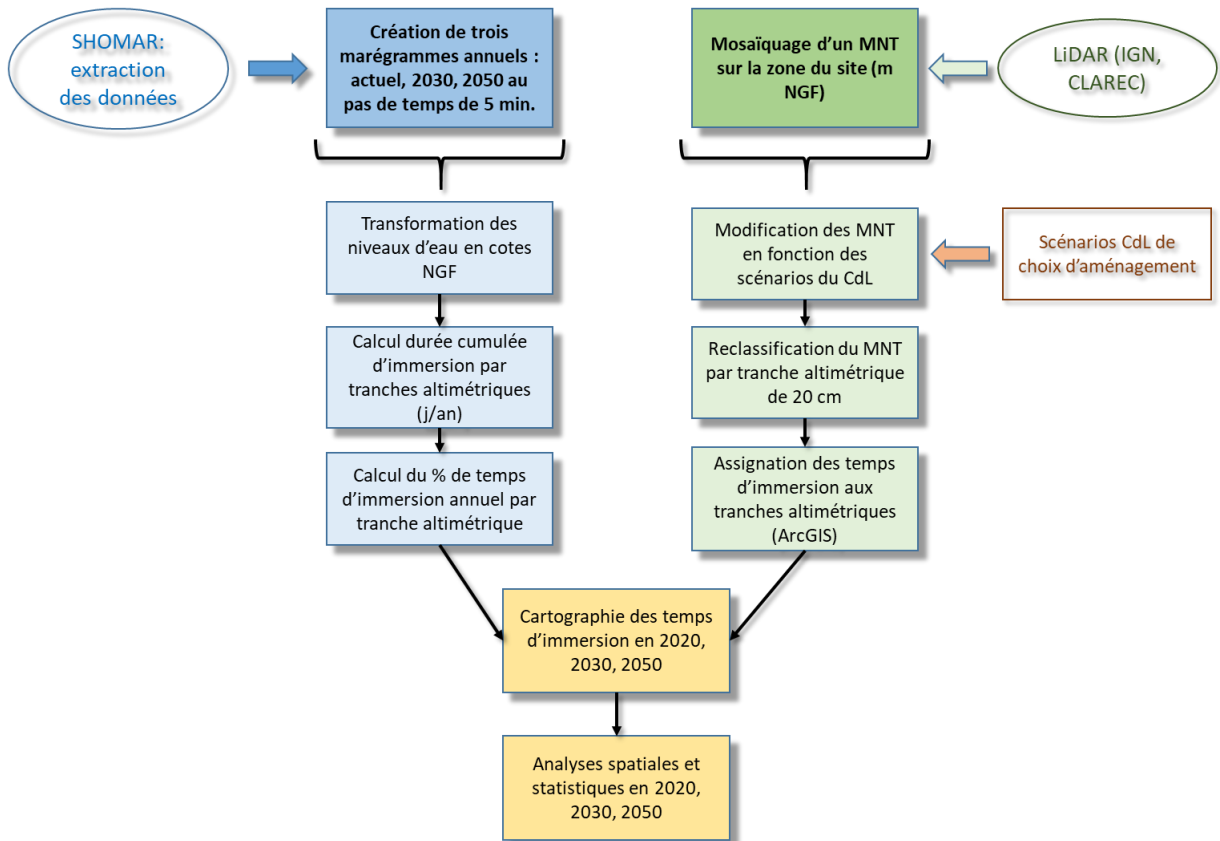


Figure 5 : Méthode suivie et données utilisées pour la réalisation des cartes d'hydro-périodicité

## 1.5.2. Traitement marégraphique

### (i) Préparation des données

La base du travail a été la création d'un marégramme sur une année complète à partir des hauteurs d'eau calculées par le logiciel Shomar (© SHOM). L'année 2015 a été prise comme référence.

- Le pas d'échantillonnage temporel des hauteurs d'eau est de 5 minutes. L'hydrogramme annuel créé contient ainsi 105120 valeurs de hauteur d'eau (Figure 6).

- Les hauteurs d'eau fournies par Shomar sont dans le référentiel hydrographique. Elles ont ensuite été transformées dans le référentiel topographique IGN 69 (Figure 6) en utilisant les paramètres hydrographiques fournis dans le Références Altimétriques Maritimes (Shom 2017, Figure 7).

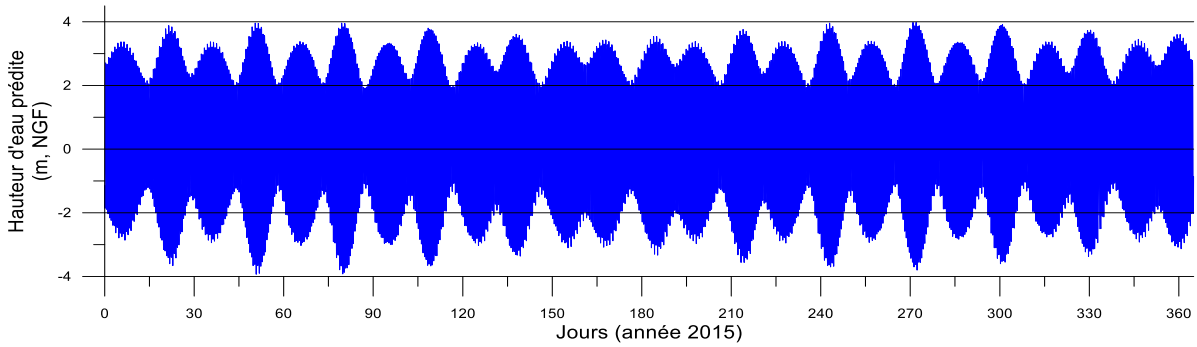


Figure 6 : Marégramme sur le Marais de Cagny en 2015 (SHOMAR, © SHOM)

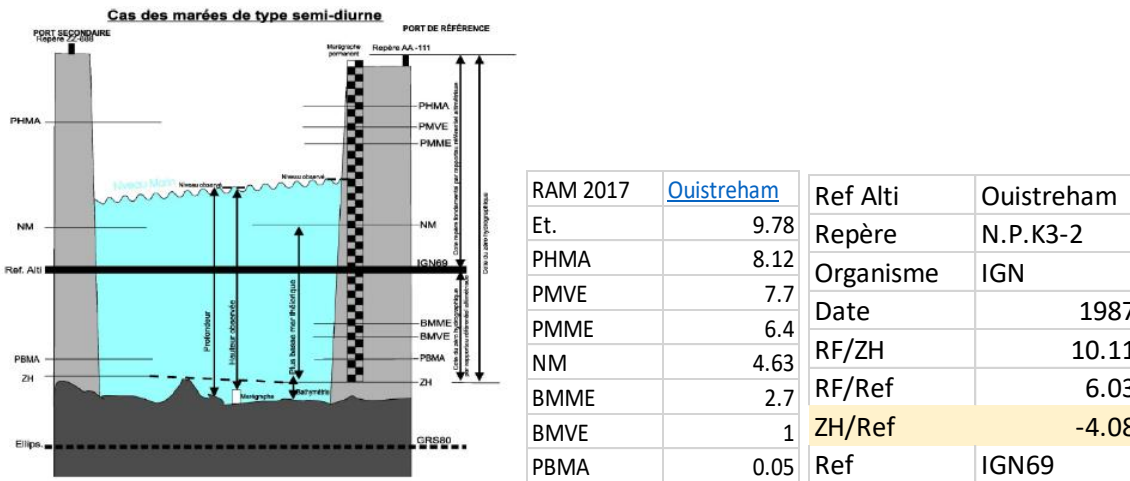


Figure 7 : Paramètres hydrographiques concernant Ouistreham (extrait des Références Altimétriques Maritimes, Shom 2017)

**(ii) Traitement des marégrammes créés**

- a. Les marégrammes futurs ont été créés en prenant en compte une remontée du niveau marin de + 20 cm (autour de 2030) et + 40 cm (autour de 2050).
- b. Pour tous les marégrammes (actuel, 2030, 2050), une analyse de la durée cumulée durant laquelle les hauteurs d'eau sont atteintes ou dépassées sur l'année (Figure 8) a été réalisée. Ce calcul a été effectué par tranche altimétrique de 0,2 m. Les résultats sont présentés sous deux formes :
  - i. Nombre de jours cumulés de submersion par an pour chaque tranche altimétrique pour chaque période (actuel, 2030, 2050).
  - ii. Pourcentage de temps de la submersion cumulée sur une année pour chaque tranche altimétrique (actuel, 2030, 2050).

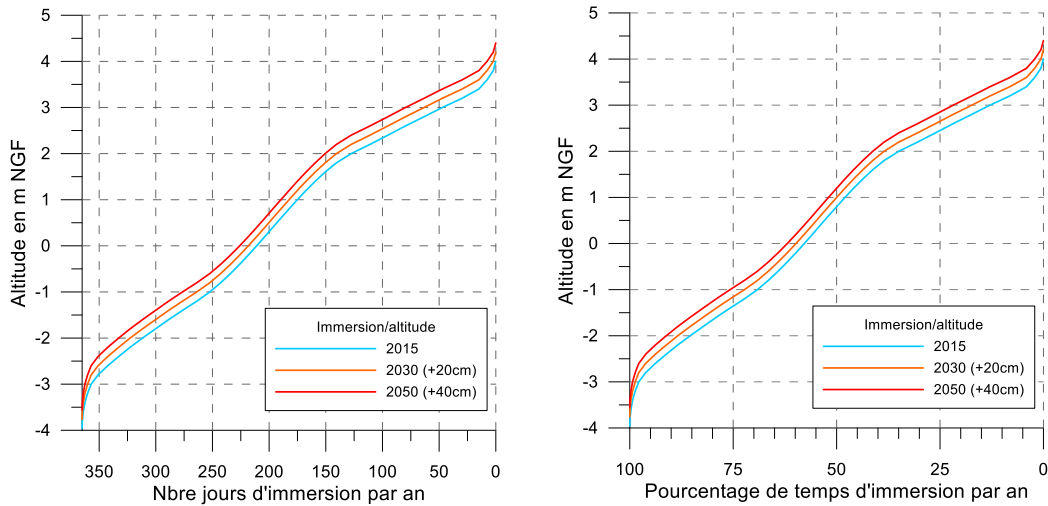


Figure 8 : Nombre de jours et pourcentage de temps de submersion par an (%) sur le Marais de Cagny en fonction de l'altitude (actuelle, vers 2030 (+ 20 cm de niveau marin) et vers 2050 (+40 cm de niveau marin)

### 1.5.3. Traitement des MNT

Un MNT centré sur le marais de Cagny a été créé par mosaïquage des données altimétriques du LIDAR de l'IGN (résolution 1 m, projection Lambert 93).

C'est à partir de ce MNT, caractérisant la topographie actuelle, qu'ont été créés les MNT intégrant les modifications topographiques induites par les différents scénarios d'aménagement. Les valeurs altimétriques des MNT « futurs » ont ensuite été reclassées par tranche de 0,2 m.

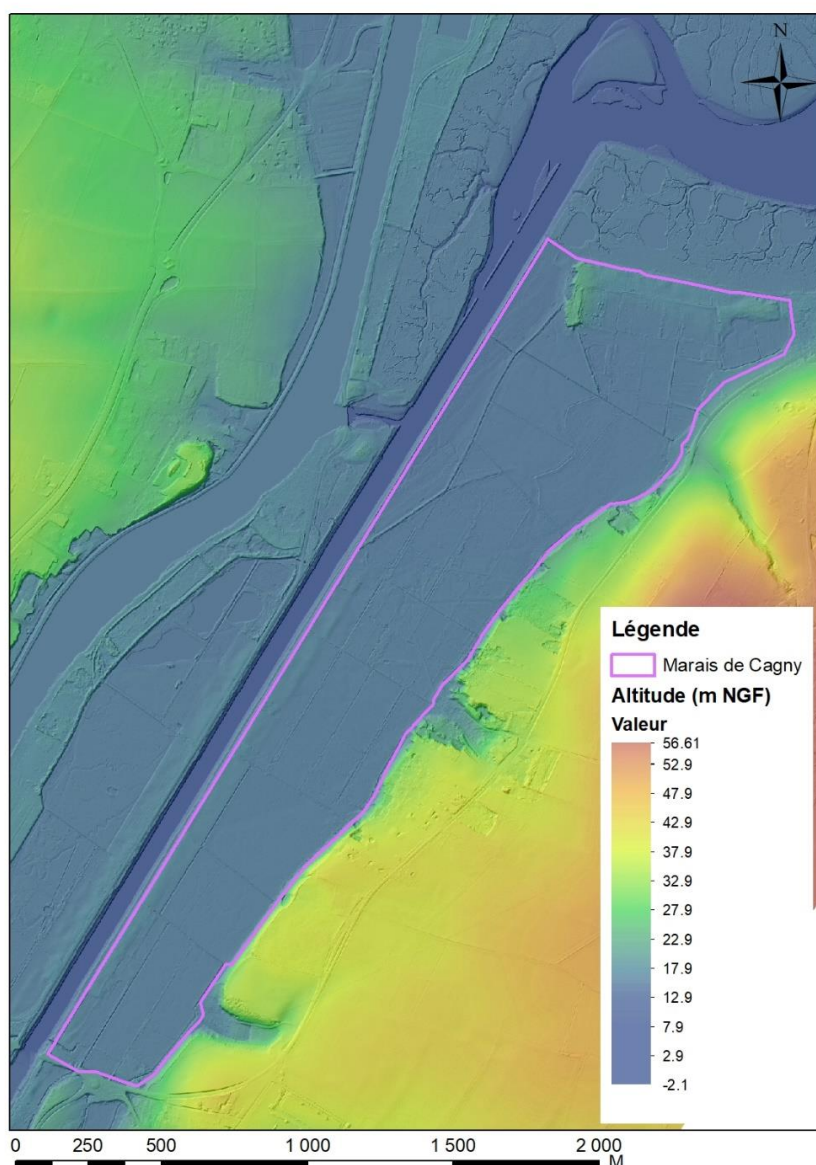


Figure 9 : MNT du site du Marais de Cagny à 1 m de résolution (source : LIDAR IGN)

#### 1.5.4. Création des cartes de submersion

Les durées annuelles (ou les pourcentages de temps) de submersion calculées précédemment et induite par les marées sont alors affectés à chaque maille du MNT en fonction de la tranche altimétrique dans laquelle elle se trouve. Il est alors possible de réaliser une cartographie de l'hydro-périodicité.

#### 1.5.5. Les résultats

##### (i) Scénario A (préservation)

Dans ce scénario, l'objectif est de préserver le Marais de Cagny de toute submersion. Il s'agit donc d'évaluer la hauteur que doivent avoir les digues pour protéger le marais contre la

submersion. Rappelons que pour l'évaluation de l'hydro-périodicité, les événements extrêmes et les submersions induites ne sont pas pris en compte du fait de leur caractère exceptionnel.

Les hauteurs des digues nécessaires pour protéger le marais seraient de :

- 4,44 m en 2020 (4,04 m. pour la PHMA + 0,4 m de revanche pour la digue),
- 4,64 m en 2030 (4,04 m + 0,2 de remontée du niveau marin + 0,4 m de revanche)
- 4,84 m en 2050 (4,04 m + 0,4 de remontée du niveau marin + 0,4 m de revanche)

**(ii) Scénario B1 (ouverture modérée)**

Pour ce scénario, trois cartes d'hydro-périodicité ont été produites pour l'actuel, 2030 et 2050. Les résultats sont présentés dans la Figure 10.

**(iii) Scénario B2 (ouverture contrôlée)**

Pour ce scénario, trois cartes d'hydro-périodicité ont été produites pour l'actuel, 2030 et 2050. Les résultats sont présentés dans la

Figure 11.

**(i) Scénario C (ouverture totale)**

Pour ce scénario, trois cartes d'hydro-périodicité ont été produites pour l'actuel, 2030 et 2050. Les résultats sont présentés dans la

Figure 12.

Dans le cadre du projet Adapto, l'ensemble de ces résultats a été fourni au Muséum National d'Histoire Naturel, pour la mise en œuvre d'un Indice de Qualité Biologique (IQE) permettant de comparer, en terme de biodiversité, les différents scénarios d'aménagement considérés (voir Debue et al., 2022).



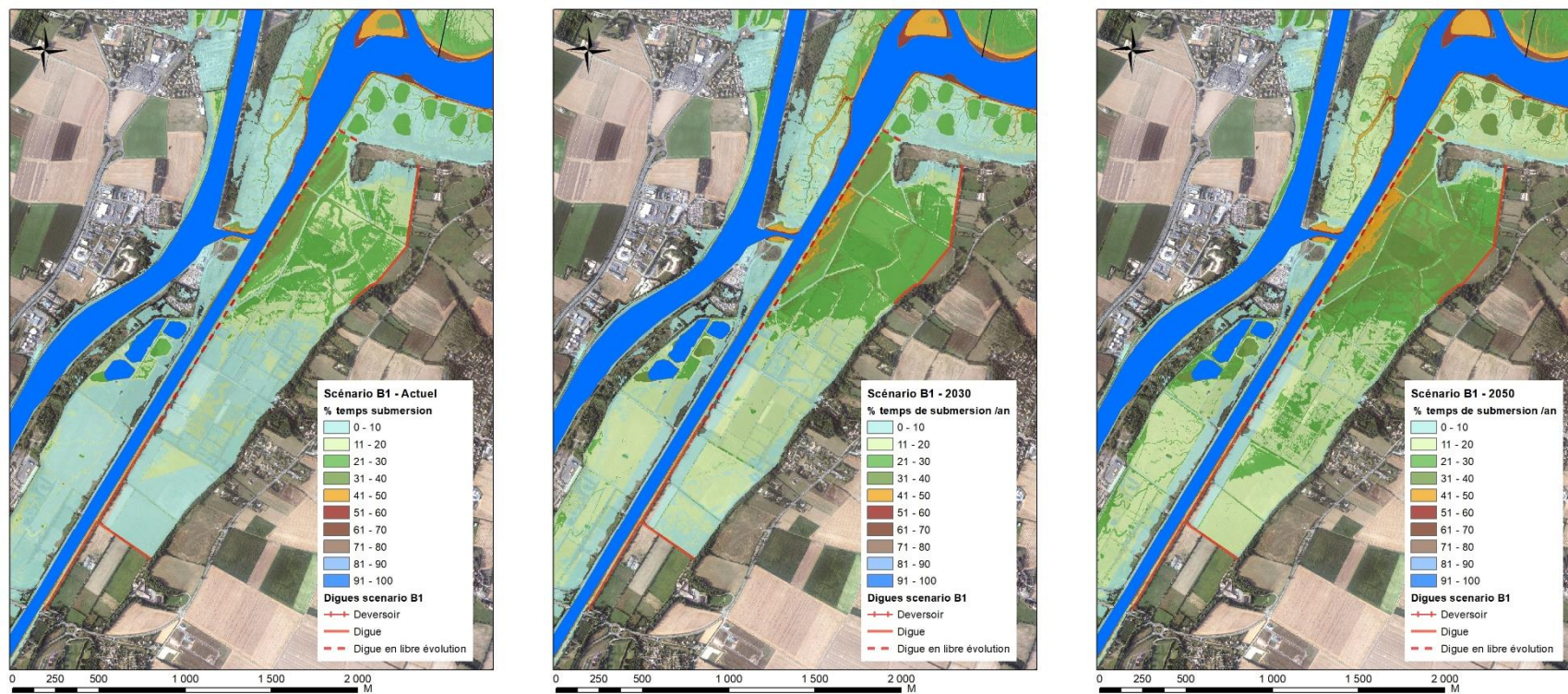


Figure 10 : Scénario B1 (ouverture modérée), de gauche à droite hydro-périodicité actuelle, vers 2030, vers 2050

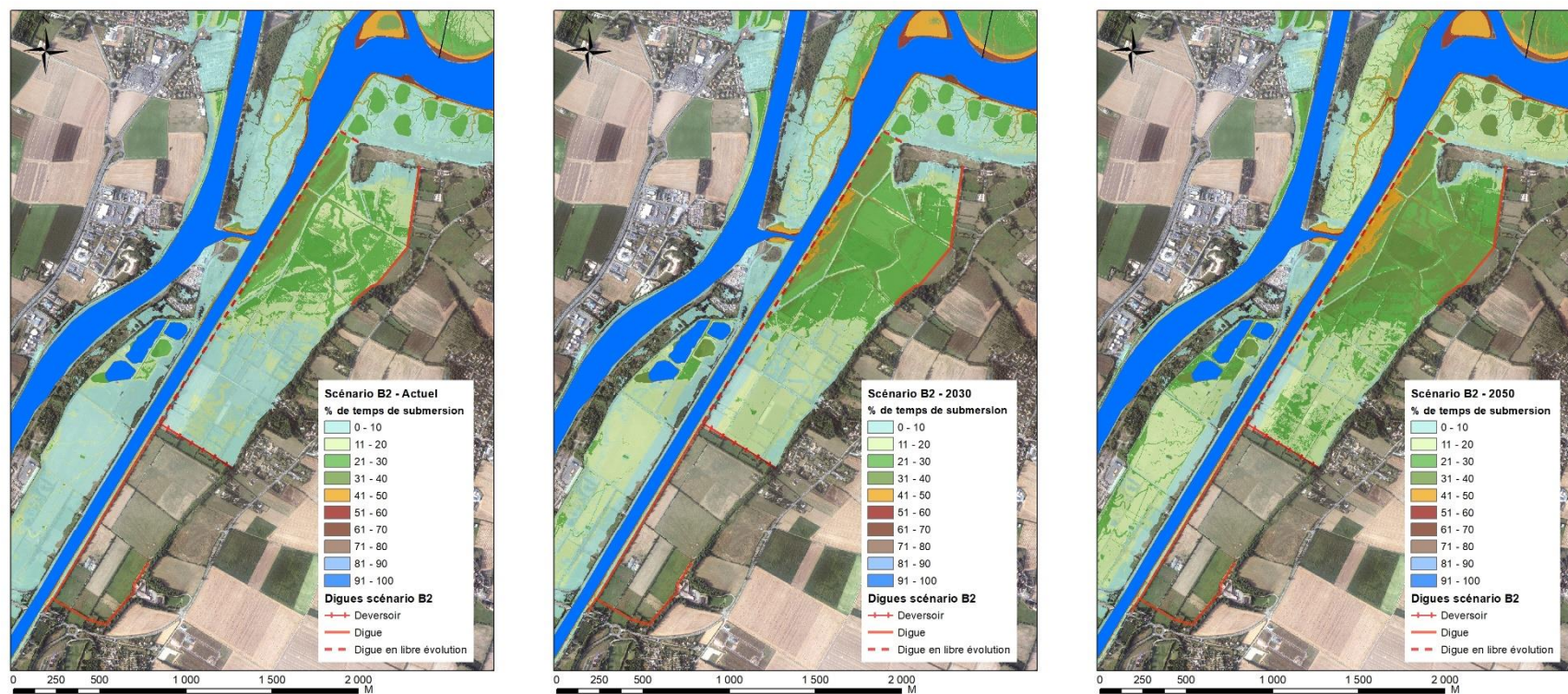


Figure 11 : Scénario B2 (ouverture contrôlée), de gauche à droite hydro-périodicité actuelle, vers 2030, vers 2050

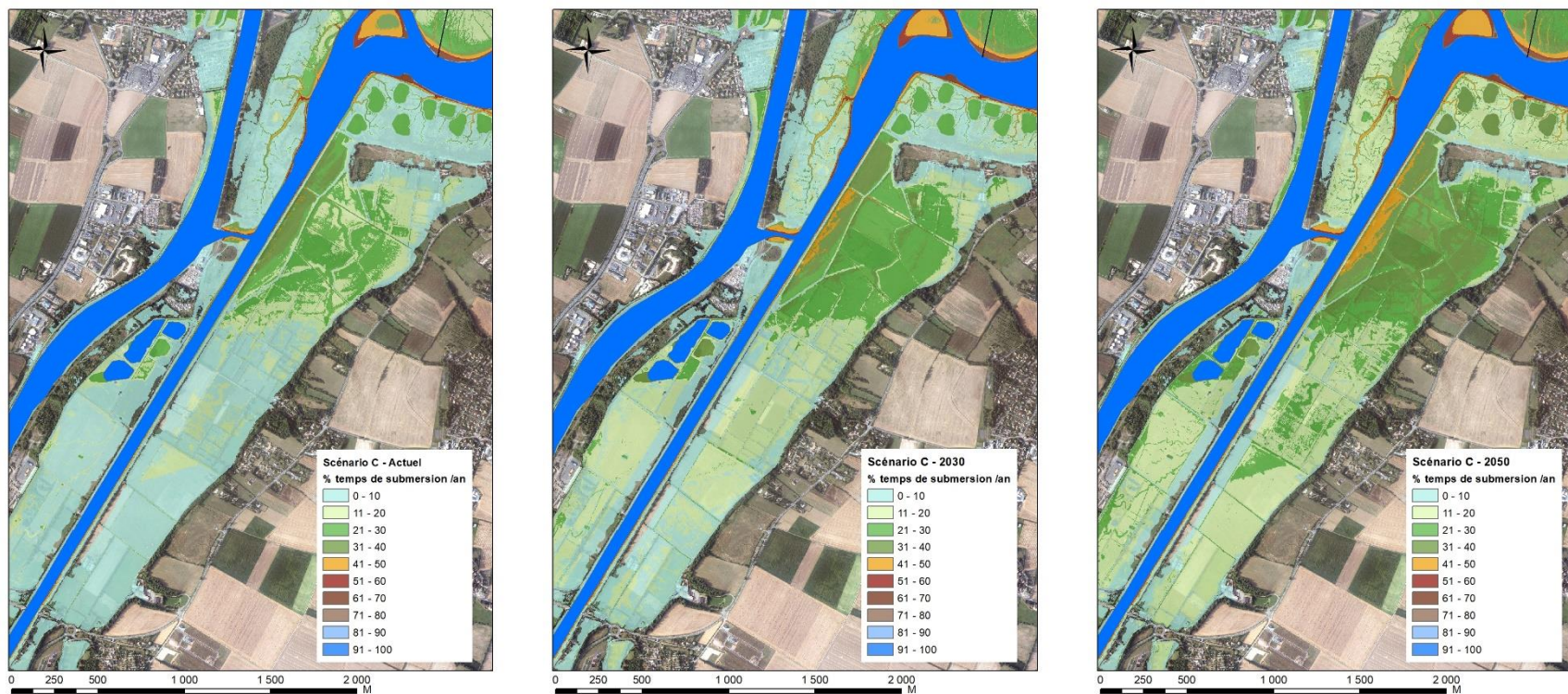


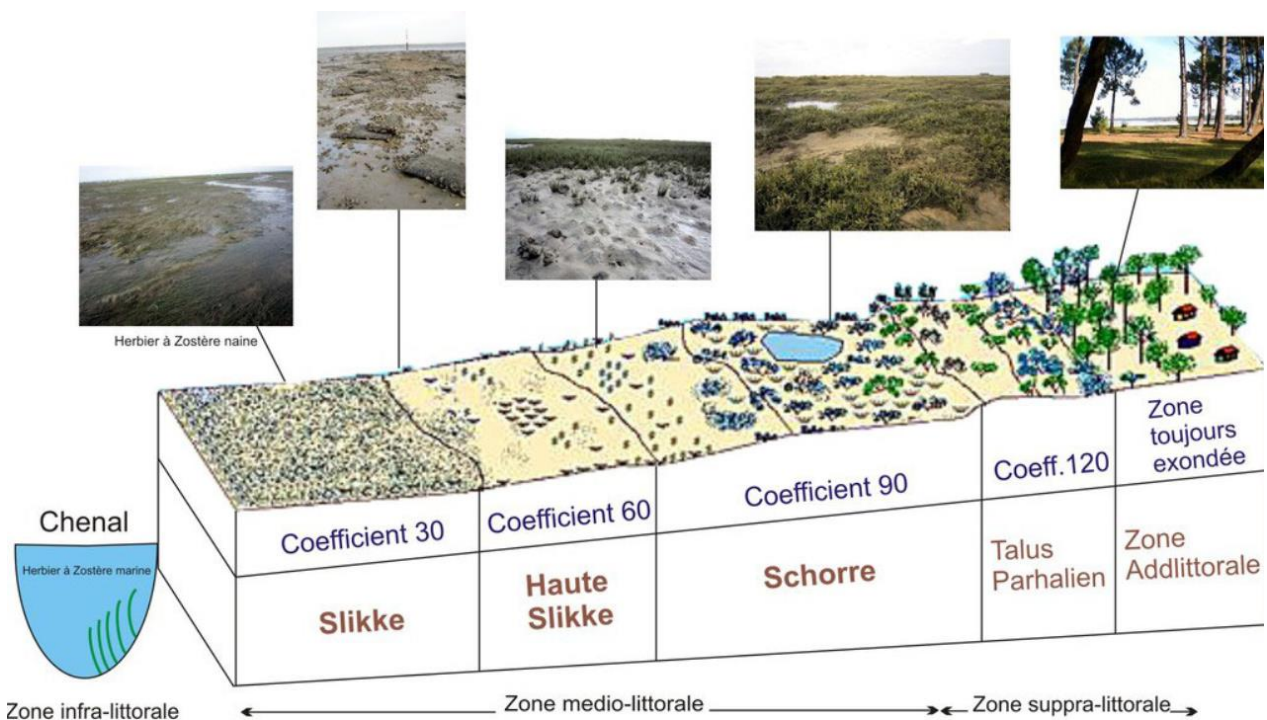
Figure 12 : Scénario C (ouverture totale), de gauche à droite hydro-périodicité actuelle, vers 2030, vers 2050

### 1.6. CARTOGRAPHIE DES LIMITES D'EXTENSION DE L'HYDRO-PERIODICITE EN FONCTION DES COEFFICIENTS DE MAREE - IMPACT SUR LES LIMITES DES ECOSYSTEMES DU MARAIS DE CAGNY

La zonation et l'étagement de la végétation constituants les marais côtiers sont fréquemment présentés en fonction de la limite de submersion atteinte par les pleines mers en fonction des coefficients de marée (Figure 13). En cartographiant les limites des pleines mers lors de ces coefficients, il est donc possible de déterminer les limites entre ces écosystèmes. Afin de mettre en œuvre cette approche, nous avons calculé pour chaque scénario (A, B1, B2, C) et pour chaque échéance temporelle (actuelle, vers 2030, vers 2050) la position des pleines mers des coefficients représentatifs de ces limites d'étagement. Les coefficients retenus comme limites entre les écosystèmes du marais maritime sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Coefficients de marée et limites des écosystèmes du marais littoral retenus dans cette étude

Limite	Coefficient de marée
Slikke / haute slikke	45
Haute slikke / Schorre	70
Schorre / Talus Parhalien	95
Haut schorre / Supratidal	120



### Les composantes d'un marais maritime

Figure 13 : Exemple de zonation des écosystèmes d'un marais maritime en fonction des limites de coefficient de marée<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Les valeurs de coefficient varient d'un auteur à l'autre. Les valeurs que nous avons utilisées sont légèrement plus élevées que celle de ce bloc-diagramme et constituent un consensus dans la littérature.

### 1.6.1. Méthode

Afin de réaliser la cartographie de l'extension des submersions pour différents coefficients de marée (et donc les limites entre écosystèmes), la première tâche consiste à définir les valeurs de hauteur d'eau de pleine-mer pour chaque coefficient<sup>3</sup>.

Pour cela, nous avons réalisé une analyse de la corrélation coefficient de marée / niveau de pleine-mer sur toutes les pleines mers de 2015 à Ouistreham (en cote NGF). Le graphe de la Figure 15 montre les hauteurs d'eau de pleine-mer minimum, moyenne et maximum pour chaque coefficient. Dans le cadre de ce projet, pour les applications cartographiques, nous avons utilisé la valeur moyenne de la hauteur d'eau pour chaque coefficient (Figure 16, Tableau 3).

Afin d'évaluer les hauteurs de pleine mer par coefficient dans le futur (2030, 2050) nous avons ajouté aux hauteurs d'eau les valeurs de la remontée du niveau marin associées à ces échéances (Tableau 4).

Tableau 4 Ce sont les hauteurs d'eau des pleines mers des coefficients caractéristiques (45, 70, 95 et 120) qui ont ensuite été utilisées pour cartographier les zones submergées par ces marées pour chaque scénario d'aménagement.

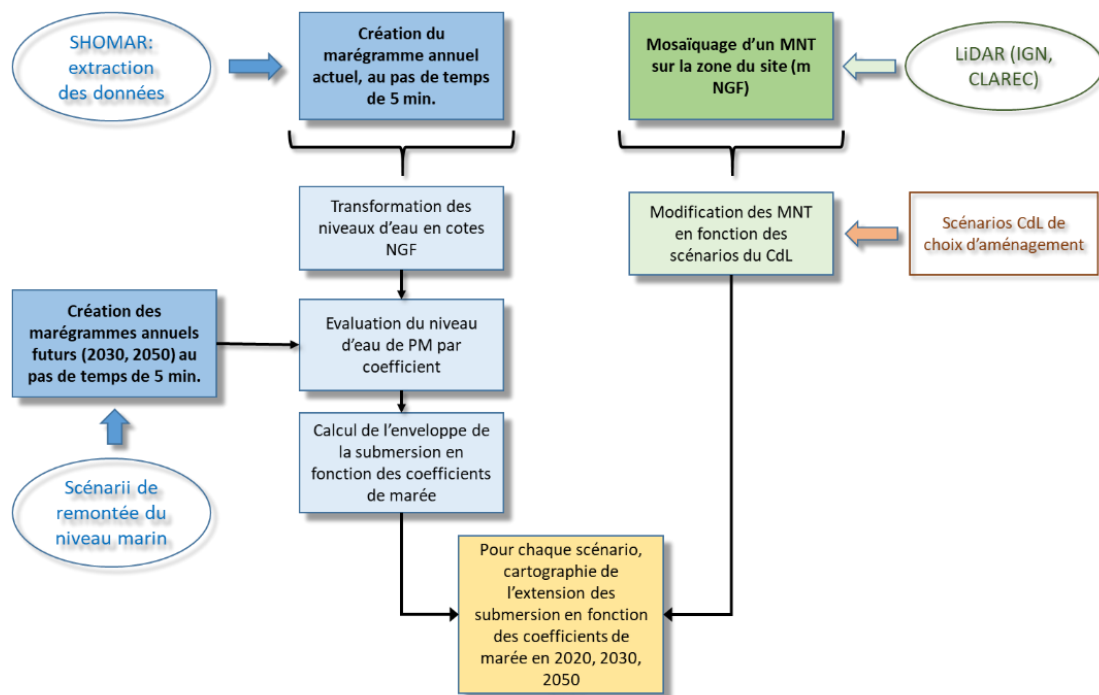


Figure 14 : Méthode suivie pour la cartographie de l'extension de la submersion selon les coefficients de marée en fonction des scénarii d'aménagement et des scénarios de remontée du niveau marin

<sup>3</sup> Les coefficients reflètent une valeur du marnage (écart entre la basse mer et la pleine mer) mais pas de la hauteur de la pleine mer ce qui explique la variabilité des hauteurs d'eau obtenue pour une valeur de coefficient donnée.

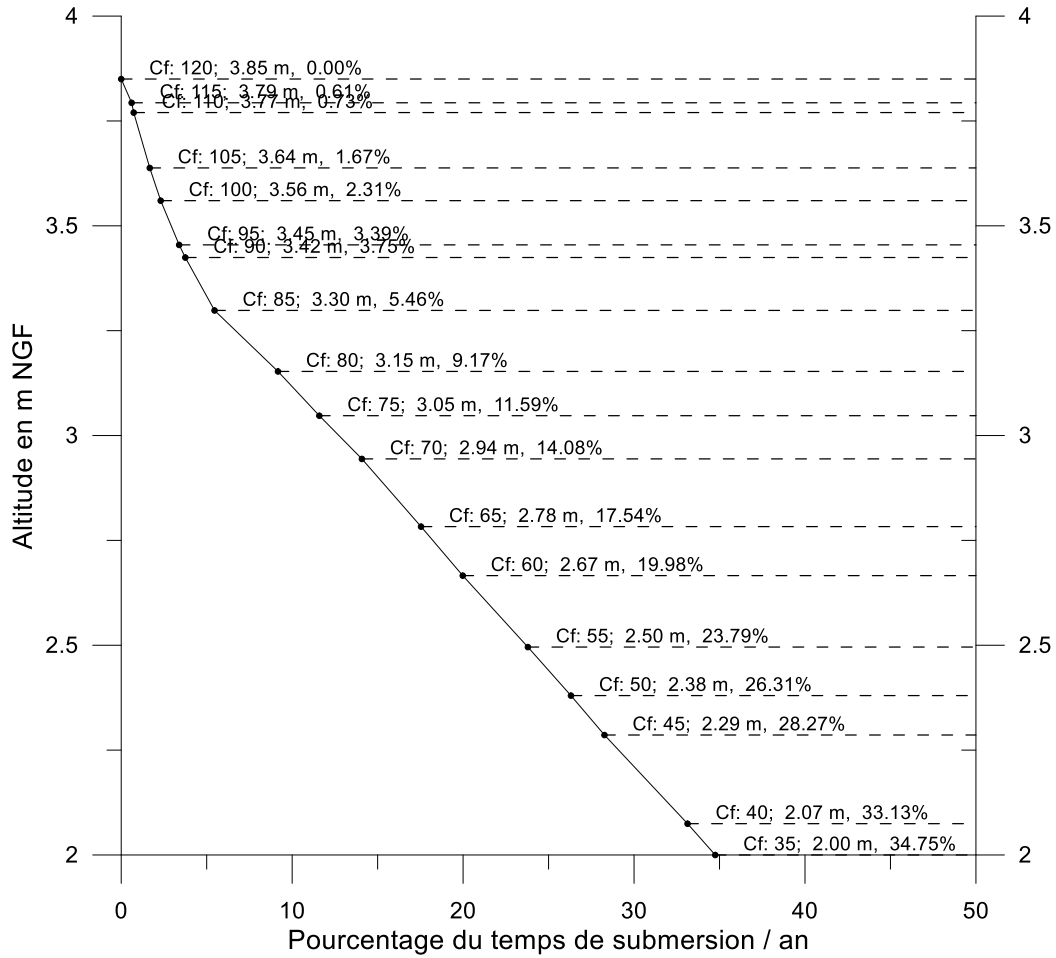


Figure 15 : Relations entre le coefficient de marée, le niveau d'eau et l'hydro-périodicité (% de temps d'immersion par an)

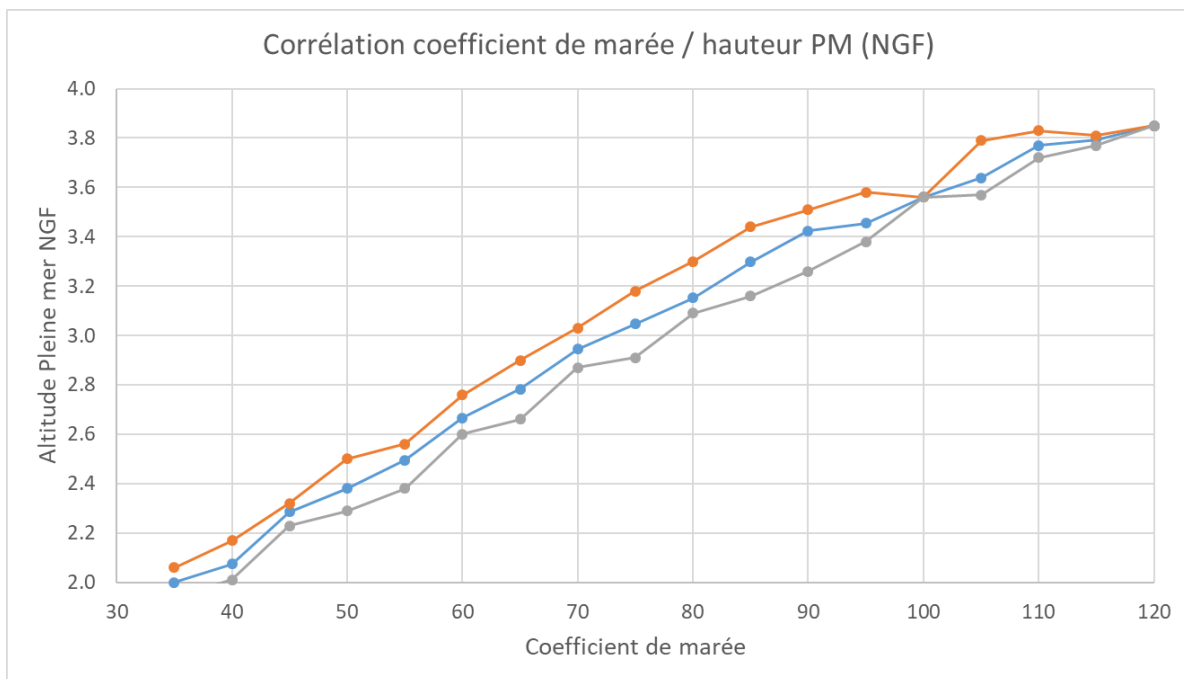


Figure 16 : Enveloppe des hauteurs de pleine mer (NGF) par coefficient de marée en 2015

Tableau 3 : Hauteurs actuelles minimales, maximales et moyennes (m NGF) des pleines-mer (PM) par incrément de 5 du coefficient de marée.

	Coefficient	Moyenne des PM	Maximale des PM	Minimale des PM
	35	2.00	2.06	1.94
	40	2.07	2.17	2.01
<b>Morte-eau moyenne</b>	45	2.29	2.32	2.23
	50	2.38	2.50	2.29
	55	2.50	2.56	2.38
	60	2.67	2.76	2.60
	65	2.78	2.90	2.66
<b>Marée moyenne</b>	70	2.94	3.03	2.87
	75	3.05	3.18	2.91
	80	3.15	3.30	3.09
	85	3.30	3.44	3.16
	90	3.42	3.51	3.26
<b>Vive-eau moyenne</b>	95	3.45	3.58	3.38
	100	3.56	3.56	3.56
	105	3.64	3.79	3.57
	110	3.77	3.83	3.72
	115	3.79	3.81	3.77
<b>Vive-eau exceptionnelle</b>	120	3.85	3.85	3.85

Tableau 4 : Niveaux moyens des pleines-mer (m NGF) actuelles, en 2030 et en 2050 utilisés pour la réalisation des cartographies

	Coefficient	Actuel moyenne des PM	2030 moyenne des PM	2050 Moyenne des PM
	35	2.00	2.20	2.40
	40	2.07	2.27	2.47
<b>Morte-eau moyenne</b>	45	2.29	2.49	2.69
	50	2.38	2.58	2.78
	55	2.50	2.70	2.90
	60	2.67	2.87	3.07
	65	2.78	2.98	3.18
<b>Marée moyenne</b>	70	2.94	3.14	3.34
	75	3.05	3.25	3.45
	80	3.15	3.35	3.55
	85	3.30	3.50	3.70
	90	3.42	3.62	3.82
<b>Vive-eau moyenne</b>	95	3.45	3.65	3.85
	100	3.56	3.76	3.96
	105	3.64	3.84	4.04
	110	3.77	3.97	4.17
	115	3.79	3.99	4.19
<b>Vive-eau exceptionnelle</b>	120	3.85	4.05	4.25

## 1.6.2. Les résultats

### (ii) Scénario B1 (ouverture modérée)

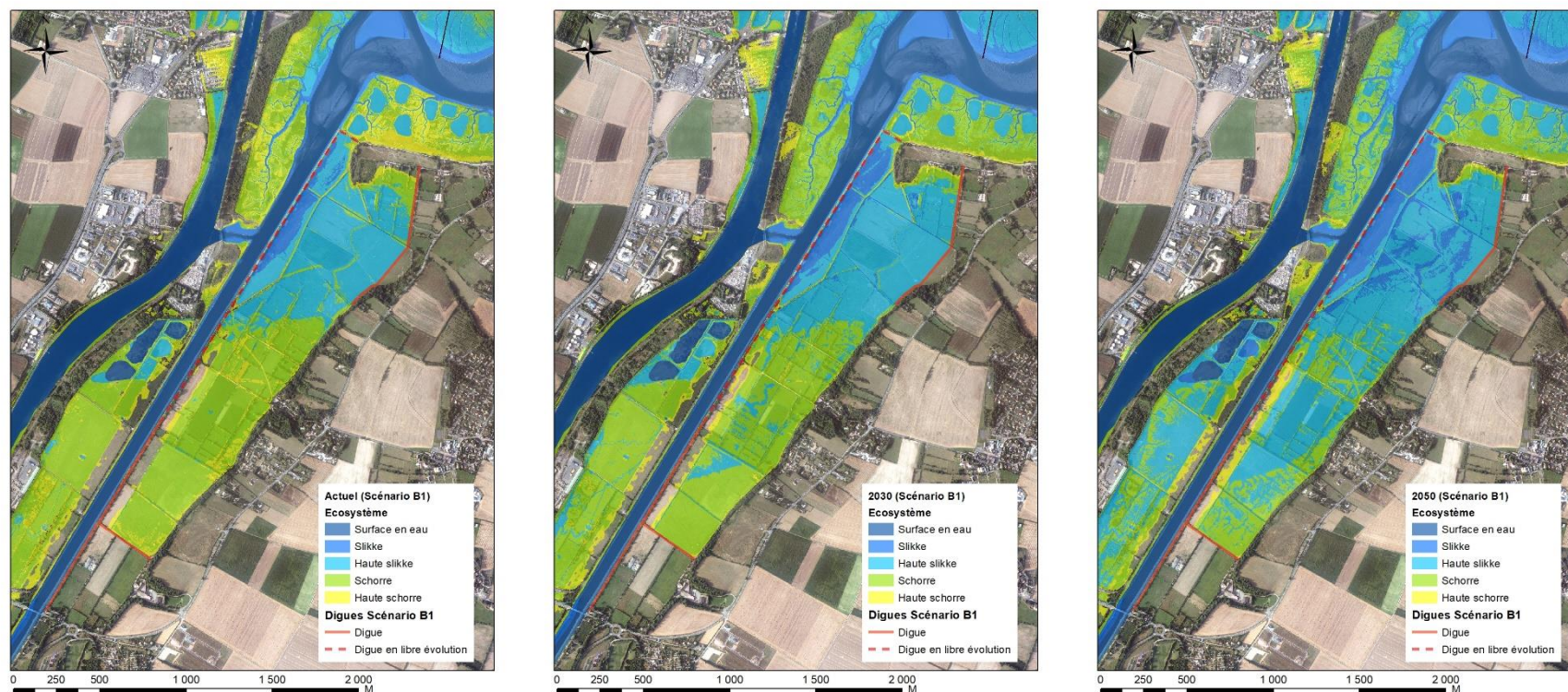


Figure 17 : Scénario B1 (ouverture modérée) : Evolution potentielle de l'extension des écosystèmes. De gauche à droite : actuel, en 2030, en 2050.

(iii) Scénario B2 (ouverture contrôlée)

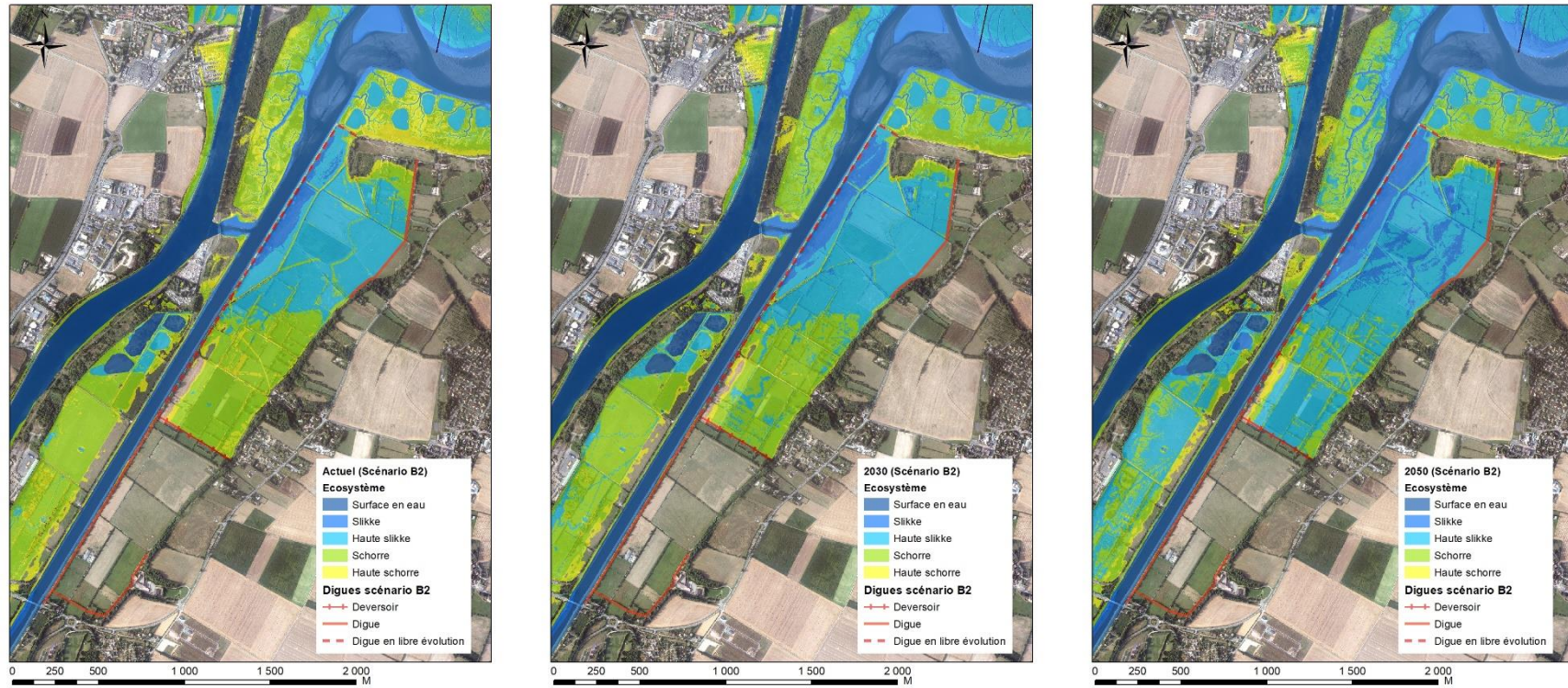


Figure 18 : Scénario B2 (ouverture contrôlée) : Evolution potentielle de l'extension des écosystèmes. De gauche à droite : actuel, en 2030, en 2050.

**(iv) Scénario C (ouverture totale)**

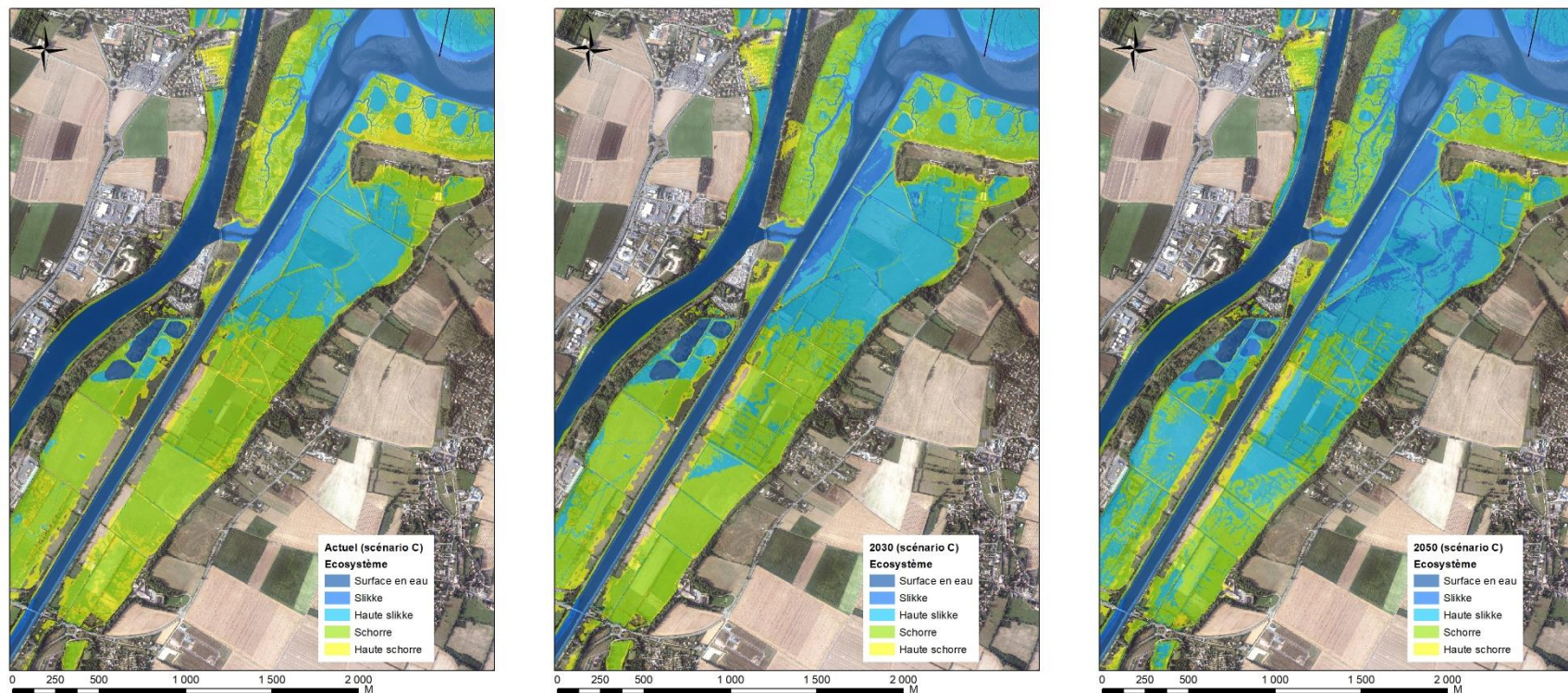


Figure 19 : Scénario C (ouverture totale) : Evolution potentielle de l'extension des écosystèmes. De gauche à droite : actuel, en 2030, en 2050.

## 1.7. CARTOGRAPHIE DE L'EXTENSION DES SUBMERSIONS ET DES HAUTEURS D'EAU LORS DES EVENEMENTS EXTREMES

L'objectif est de déterminer les extensions et les hauteurs de submersion du Marais de Cagny qui se produiraient lors d'évènements extrêmes aux trois échéances et pour les différents scénarios d'aménagement

### 1.7.1. Source des données

Deux sources de données existent sur les événements extrêmes dans le secteur d'Ouistreham: les données issues du PPRL 2015 et les données du SHOM.

Les niveaux d'eau pris en compte dans le PPRL intègrent une remontée du niveau marin forfaitaire de +0,2 m pour les périodes de retour de 10,100 et 1000 ans et une remontée forfaitaire de +0,6 m pour un événement centennal qui se produirait en 2120 (Tableau 5). Pour pouvoir comparer le niveau centennal du PPRL avec celui fournit par le SHOM, il est donc nécessaire de retrancher la valeur forfaitaire de remontée du niveau marin. Ainsi le niveau d'eau centennal utilisé dans le PPRL est de 4,58 cm (4,78 – 0,2 m) alors que celui fournit par le SHOM est de 4,5 m NGF. Ce dernier est donc de 8 cm plus bas que celui pris en compte dans le PPRL

Tableau 5 : Niveaux d'eau de période de retour 10, 100 et 1000 ans pris en compte dans le PPRL

Scénario	Fréquent (T10)	Référence (T100)	Extrême (T1000)	Référence (T100) dans 100 ans
Echéance	actuelle	actuelle	actuelle	future (100 ans)
Niveau (marée, surcote)	4.22	4.58	4.96	4.58
Wave setup	0	0	0	0
Remontée du niveau marin	0.2	0.2	0.2	0.6
Niveau d'eau total retenu dans le PPRL	4.42	4.78	5.16	5.18

### 1.7.2. Méthode

Dans le cadre du projet Adapto, la remontée du niveau marin est prise en compte explicitement avec des valeurs différentes pour chaque date (nulle dans l'actuel, + 0,2 m autour de 2030 ; + 0,4 m autour de 2050).

Pour évaluer le niveau centennal à chaque date, la surcote centennale (évaluation SHOM et PPRL) est ajoutée au niveau marin pour générer des événements futurs fictifs (Tableau 6). Nous avons retenu les valeurs de hauteur d'eau les plus élevées (valeurs en gras dans le Tableau 6) :

- Actuel : niveau d'eau total de 4,58 m NGF,
- 2030 : niveau d'eau total de 4,78 m NGF,
- 2050 : niveau d'eau total de 4,98 m NGF.

**Tableau 6 : Evaluation des niveaux d'eau centennaux pour la période actuelle, en 2030 et en 2050 (les niveaux millénaux ont été ajoutés à titre indicatif)**

Echéance	Actuelle			2030			2050			2100		
Scénario	T100 PPRL	T100 SHOM	T1000 PPRL	T100 PPRL	T100 SHOM	T1000 PPRL	T100 PPRL	T100 SHOM	T1000 PPRL	T100 PPRL	T100 SHOM	T1000 PPRL
Source	PPRL	SHOM	PPRL	PPRL	SHOM	PPRL	PPRL	SHOM	PPRL	PPRL	SHOM	PPRL
Niveau (marée, surcote)	4.58	4.5	4.96	4.58	4.5	4.96	4.58	4.5	4.96	4.58	4.5	4.96
Wave setup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Remontée du niveau marin	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
<b>Niveau d'eau total (m NGF)</b>	<b>4.58</b>	<b>4.5</b>	<b>4.96</b>	<b>4.78</b>	<b>4.7</b>	<b>5.16</b>	<b>4.98</b>	<b>4.9</b>	<b>5.36</b>	<b>5.18</b>	<b>5.1</b>	<b>5.56</b>

Ces niveaux sont ensuite utilisés pour cartographier l'extension des submersions engendrées par ces événements pour tous les scénarios d'aménagement. Cette cartographie est réalisée par évaluation statique des submersions (croisement entre les niveaux d'eau et la topographie du site). Elle permet de connaître en chaque point la hauteur de submersion. Cette cartographie simplifiée des submersions a tendance à surestimer leurs extensions.

Pour le scénario de rehaussement des digues (scénario A), les niveaux d'eau centennaux à chaque date sont utilisés pour déterminer l'élévation qu'elles doivent avoir pour jouer leur rôle protecteur. Il faut noter qu'aux valeurs de niveau d'eau de référence ont été ajoutés 40 cm en tant que revanche. Cette valeur de revanche est celle actuellement prise en compte dans les ouvrages existants. Cette hauteur de revanche correspond à la marge réservée entre le niveau des plus hautes eaux et la crête de l'ouvrage. Elle constitue un facteur de sécurité par rapport aux autres facteurs susceptibles d'élever le niveau d'eau (effets des vagues et du clapot par exemple).

### 1.7.3. Résultats

#### (i) Scénario A (préservation)

Les niveaux d'altitude de la crête des digues proposés sont les suivants :

- Actuel : 4,98 m (4,58 m hauteur d'eau centennale + 0,4 m de revanche de digue),
- 2030 : 5,18 m (4,78 m hauteur d'eau centennale + 0,4 m de revanche de digue),
- 2050 : 5,38 m (4,98 m hauteur d'eau centennale + 0,4 m de revanche de digue).

#### (ii) Scénario B1 (ouverture modérée)

Pour ce scénario, trois cartes de hauteur de submersion ont été produites pour l'actuel, 2030 et 2050. Les résultats sont présentés dans la Figure 20.

#### (iii) Scénario B2 (ouverture contrôlée)

Pour ce scénario, trois cartes de hauteur de submersion ont été produites pour l'actuel, 2030 et 2050. Les résultats sont présentés dans la Figure 21.

#### (iii) Scénario C (ouverture totale)

Pour ce scénario d'ouverture totale du Marais, trois cartes de hauteur de submersion ont été produites pour l'actuel, 2030 et 2050. Les résultats sont présentés dans la Figure 22.

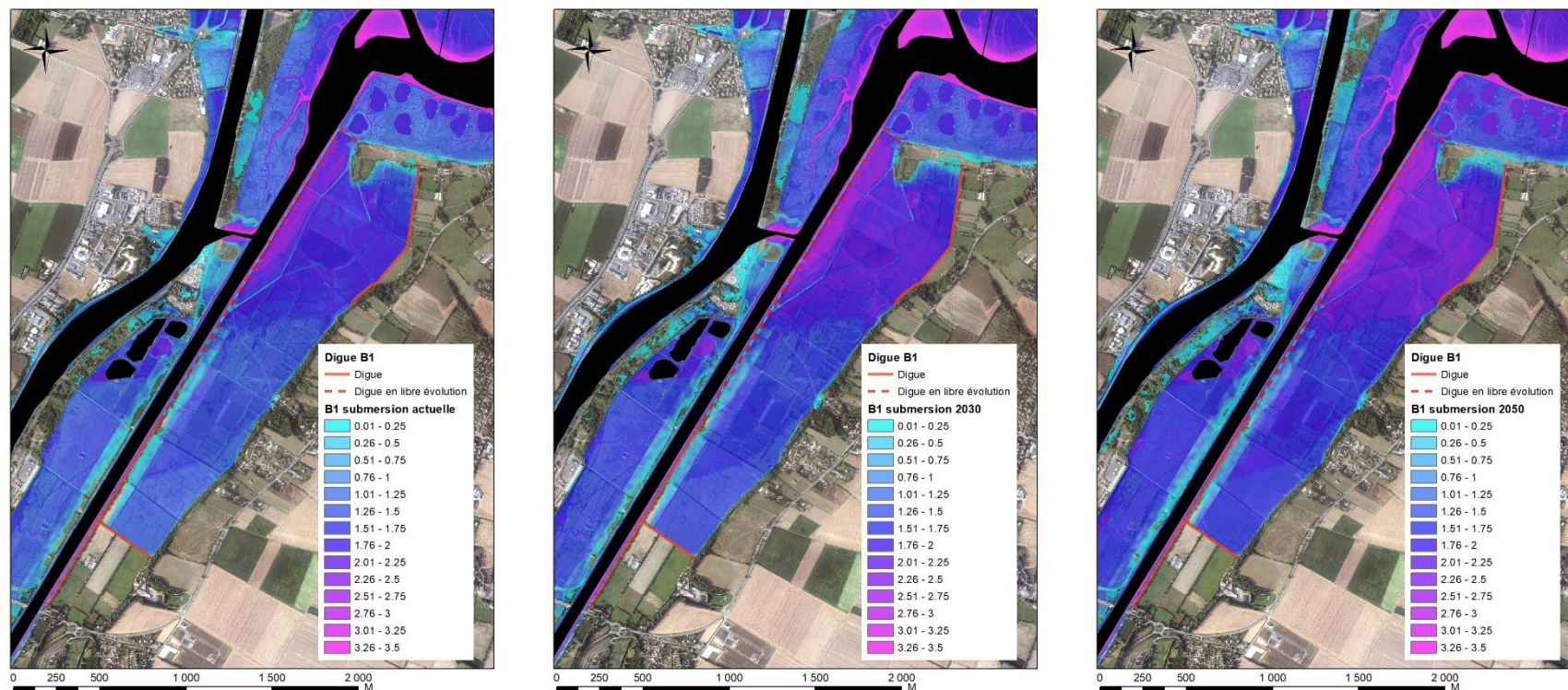


Figure 20 : Scénario B1 (ouverture modérée) : Hauteur de submersion (m) lors de l'occurrence d'un événement centennial (actuel, en 2030, en 2050)

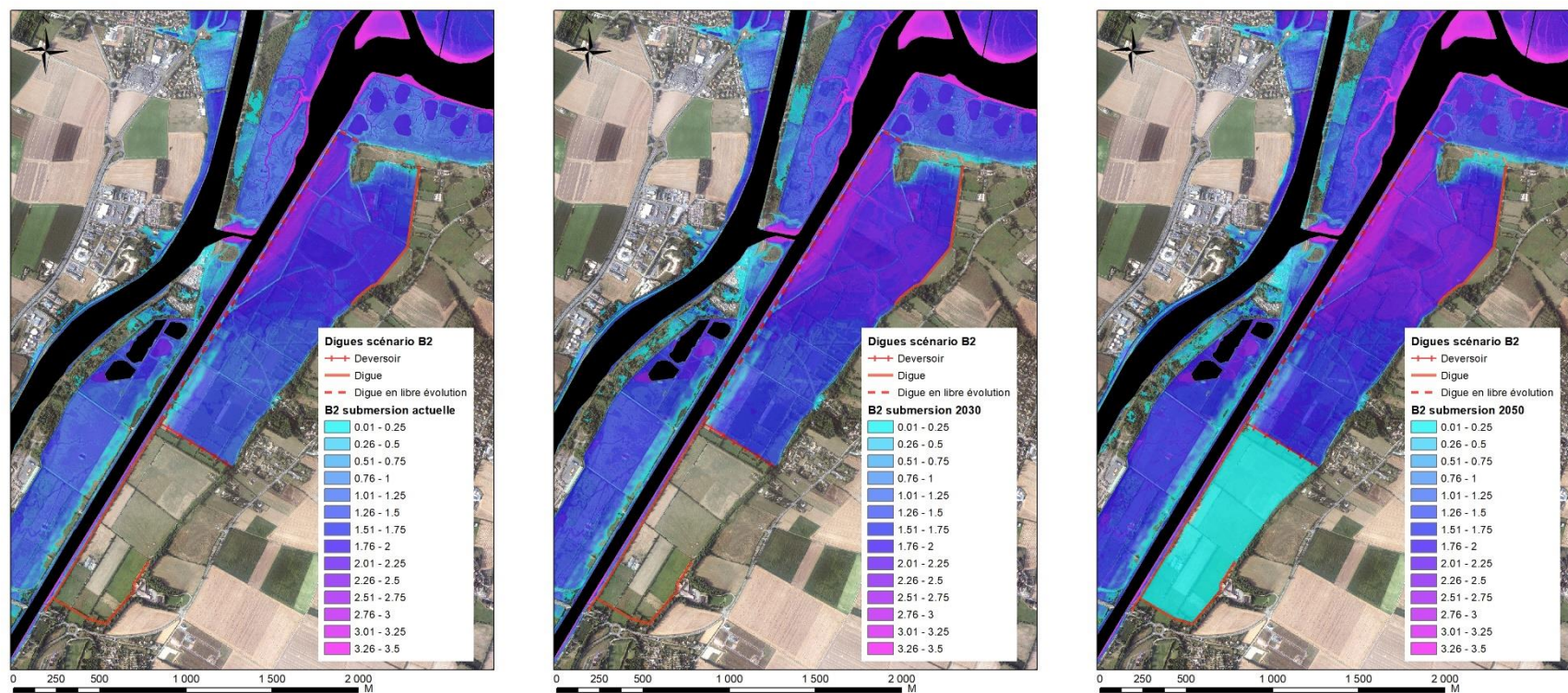


Figure 21 : Scénario B2 (ouverture contrôlée) : Hauteur de submersion (m) lors de l'occurrence d'un événement centennal (actuel, en 2030, en 2050)

Nota : En 2050, il y aurait surverse au-dessus du déversoir transversal, la parcelle en rive droite au sud du domaine serait potentiellement inondée. Toutefois, compte tenu de la durée d'un événement de submersion, la hauteur du plan d'eau sur la parcelle ne pourra atteindre celle du niveau maximum. C'est pourquoi nous avons forfaitairement attribué à cette parcelle une hauteur de submersion comprise entre 0 et 0,25 m.

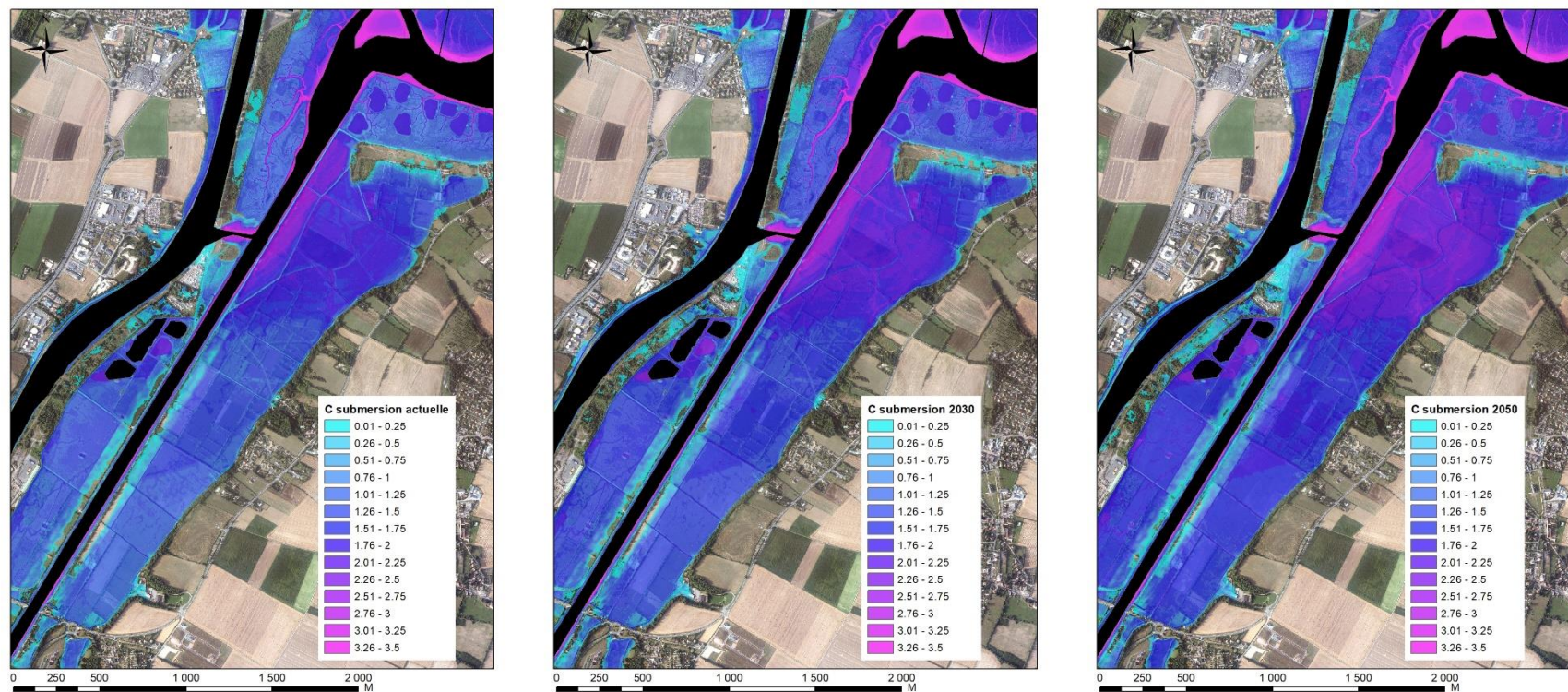


Figure 22 : Scénario C (ouverture totale) : Hauteur de submersion (m) lors de l'occurrence d'un événement centennal (actuel, en 2030, en 2050)

## 2. Conclusion

Ce rapport présente des éléments de prospective utiles pour anticiper et planifier l'adaptation au changement climatique du Marais de Cagny. Il s'agit plus particulièrement d'évaluer la submersibilité des terrains du Marais de Cagny en fonction de plusieurs scénarios d'aménagement et de désengagement (effacement de digues) du Marais.

Dans cette étude nous avons analysé la submersibilité des terrains pour quatre scénarios d'aménagement et pour trois niveaux marins (niveau marin actuel, remontée du niveau marin de +20 cm vers 2030, remontée du niveau marin de +40 cm vers 2050).

Plusieurs approches de la submersibilité du marais de Cagny ont été réalisées pour ces quatre scénarios et pour ces trois périodes :

1) L'inondabilité des terrains sous deux formes :

A) Une cartographie de l'hydro-périodicité c'est-à-dire du pourcentage de temps par an (ou du nombre de jours par an) durant lequel les terrains subissent une immersion induite par la marée (submersion temporaire lors des pleines-mer).

B) Les extensions de la submersion induite lors des pleines-mers pour des coefficients type (45, 70, 95 et 120) qui correspondent aux limites des différents écosystèmes constituant le marais maritime. A partir de ces limites, il est possible d'établir des cartographies des écosystèmes futurs susceptibles de se maintenir ou de se développer en fonction des scénarios d'aménagement. Ces éléments constituent une information utile pour choisir le scénario qui sera le plus adapté aux objectifs visés par les gestionnaires.

2) Les effets d'un événement marin extrême (niveau d'eau centennal) sur l'extension de la submersion potentiellement induite. La cartographie des zones inondables et des hauteurs d'eaux est réalisée pour la période actuelle, avec un niveau marin de +20 cm (vers 2030) et de +40 cm (vers 2050).

Ces résultats et cartographies constituent des éléments portés à la connaissance des gestionnaires de cet espace. Ils permettent d'engager des réflexions sur les impacts des choix d'aménagement qui seront faits aussi bien pour la prise en compte des risques que de leurs effets sur les écosystèmes.

## 3. Références

### 3.1. BIBLIOGRAPHIE

Debue M., Billon L., Poncet R., Reyjol Y. (2022). Développement d'un indicateur de qualité écologique dans le cadre du Life Adapto. Rapport final – Site de l'estuaire de l'Orne, PatriNat (OFB-MNHN-CNRS)

PPRL Bessin & Dives-Orne (2014) – Phase 1 – Analyse préalable des sites. D1301002

PPRL Bessin & Dives-Orne (2015) - Cartographie des aléas littoraux Secteur Dives-Orne. DDTM. Alp Géorisques D1301002.

PPRL Bessin & Dives-Orne (2015) – Méthodologie générale et conditions hydrodynamiques- Analyse statistique des conditions hydrodynamiques. Alp Géorisques D1301002.

Shom (2017) - Références Altimétriques Maritimes – Ports de France métropolitaine et d'outre-mer. 118 p. (<https://data.shom.fr/>)

### 3.2. RESSOURCES

BDTopo IGN (<https://www.ign.fr/>)

BD Alti IGN (<https://www.ign.fr/>)

Ortholittoral v2 (<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>)

Carte topographique de Caen (1837) – Feuille sud est à 1/80 000 (<https://remonterletemps.ign.fr/>)



## 4. Annexe 1

Tableau 7 : Tableau de corrélation entre les coefficients de marée, l'élévation moyenne des pleines-mers (t0, circa 2030, circa 2050) et du pourcentage de submersion annuel sur le site du Marais de Cagny (Ouireham, 14)

		Actuel	Circa 2030	Circa 2050	
<b>Ouireham</b>	Coefficient	Elevation moyenne des PM (m NGF)	Elevation moyenne des PM (+0.2m)	Elevation moyenne des PM (+0.4m)	% temps de submersion
	35	2.00	2.20	2.40	34.95
	40	2.07	2.27	2.47	33.39
Morte-eau moyenne	45	2.29	2.49	2.69	28.48
	50	2.38	2.58	2.78	26.54
	55	2.50	2.70	2.90	23.99
	60	2.67	2.87	3.07	20.21
	65	2.78	2.98	3.18	17.76
Marée moyenne	70	2.94	3.14	3.34	14.31
	75	3.05	3.25	3.45	11.79
	80	3.15	3.35	3.55	9.42
	85	3.30	3.50	3.70	5.66
	90	3.42	3.62	3.82	3.88
Vive-eau moyenne	95	3.45	3.65	3.85	3.52
	100	3.56	3.76	3.96	2.40
	105	3.64	3.84	4.04	1.74
	110	3.77	3.97	4.17	0.81
	115	3.79	3.99	4.19	0.66
Vive-eau exceptionnelle	120	3.85	4.05	4.25	0.39

Tableau 8 : Tableau de corrélation par tranches d'altitude de 20 cm du nombre de jour de submersion et du pourcentage annuel du temps de submersion (T0, circa 2030, circa 2050) sur le site du Marais de Cagny (Ouireham, 14)

Ouireham								
Altitude m NGF			T0		Circa 2030 (+20 cm)		Circa 2050 (+40 cm)	
Altitude inf en m NGF	Altitude sup en m NGF	Classe	Nombre de jours de submersion / an (t0)	Pourcentage de temps de submersion par an (t0)	Nombre de jours de submersion / an (t0 + 20 cm)	Pourcentage de temps de submersion / an (t0 + 20 cm)	Nombre de jours de submersion / an (t0 + 40 cm)	Pourcentage de temps de submersion / an (t0 + 40 cm)
4.4	4.6	42	0.0	0	0.0	0	0.0	0.01
4.2	4.4	41	0.0	0	0.0	0.01	2.2	0.61
4	4.2	40	0.0	0.01	2.2	0.61	7.7	2.11
3.8	4	39	2.2	0.61	7.7	2.11	15.0	4.10
3.6	3.8	38	7.7	2.11	15.0	4.10	29.7	8.13
3.4	3.6	37	15.0	4.10	29.7	8.13	47.2	12.92
3.2	3.4	36	29.7	8.13	47.2	12.92	63.2	17.33
3	3.2	35	47.2	12.92	63.2	17.33	79.6	21.82
2.8	3	34	63.2	17.33	79.6	21.82	95.2	26.09
2.6	2.8	33	79.6	21.82	95.2	26.09	111.0	30.41
2.4	2.6	32	95.2	26.09	111.0	30.41	127.6	34.95
2.2	2.4	31	111.0	30.41	127.6	34.95	140.6	38.52
2	2.2	30	127.6	34.95	140.6	38.52	150.6	41.26
1.8	2	29	140.6	38.52	150.6	41.26	159.3	43.65
1.6	1.8	28	150.6	41.26	159.3	43.65	167.5	45.88
1.4	1.6	27	159.3	43.65	167.5	45.88	175.1	47.97
1.2	1.4	26	167.5	45.88	175.1	47.97	182.4	49.98
1	1.2	25	175.1	47.97	182.4	49.98	189.6	51.95
0.8	1	24	182.4	49.98	189.6	51.95	196.8	53.91
0.6	0.8	23	189.6	51.95	196.8	53.91	203.8	55.84
0.4	0.6	22	196.8	53.91	203.8	55.84	211.0	57.81
0.2	0.4	21	203.8	55.84	211.0	57.81	218.3	59.82
0	0.2	20	211.0	57.81	218.3	59.82	226.0	61.92
-0.2	0	19	218.3	59.82	226.0	61.92	234.0	64.12
-0.4	-0.2	18	226.0	61.92	234.0	64.12	242.7	66.49
-0.6	-0.4	17	234.0	64.12	242.7	66.49	252.3	69.13
-0.8	-0.6	16	242.7	66.49	252.3	69.13	263.8	72.28
-1	-0.8	15	252.3	69.13	263.8	72.28	276.5	75.75
-1.2	-1	14	263.8	72.28	276.5	75.75	288.7	79.09
-1.4	-1.2	13	276.5	75.75	288.7	79.09	300.3	82.26
-1.6	-1.4	12	288.7	79.09	300.3	82.26	311.7	85.40
-1.8	-1.6	11	300.3	82.26	311.7	85.40	322.7	88.40
-2	-1.8	10	311.7	85.40	322.7	88.40	332.8	91.17
-2.2	-2	9	322.7	88.40	332.8	91.17	342.4	93.81
-2.4	-2.2	8	332.8	91.17	342.4	93.81	351.0	96.15
-2.6	-2.4	7	342.4	93.81	351.0	96.15	357.0	97.82
-2.8	-2.6	6	351.0	96.15	357.0	97.82	360.2	98.69
-3	-2.8	5	357.0	97.82	360.2	98.69	362.5	99.33
-3.2	-3	4	360.2	98.69	362.5	99.33	364.0	99.72
-3.4	-3.2	3	362.5	99.33	364.0	99.72	364.8	99.95
-3.6	-3.4	2	364.0	99.72	364.8	99.95	365.0	100.00
-3.8	-3.6	1	364.8	99.95	365.0	100.00	365.0	100.00
-4	-3.8	0	365.0	100.00	365.0	100.00	365.0	100.00







**Centre scientifique et technique**  
**Direction Risques et Prévention**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)