



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Expertise du projet de plan de prévention des risques de submersion marine des marais de Dol (Ille-et-Vilaine)

Rapport n° 010117-01
établi par

Nicolas FORRAY et Dominique MARBOUTY

avril 2015



Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport.

Fiche qualité

La mission du CGEDD qui a donné lieu à la rédaction du présent rapport a été conduite conformément au dispositif qualité du Conseil.

Rapport CGEDD n° 010117-01

Date du rapport : avril 2015

Titre : Expertise du projet de plan de prévention des risques de submersion marine des marais de Dol (Ille-et-Vilaine)

Commanditaire(s) : Ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

Date de la commande : 19 janvier 2015

Auteur(e)s du rapport (CGEDD) : Nicolas FORRAY et Dominique MARBOUTY

Coordonnateur : Nicolas FORRAY

Superviseuse : Marie Line MEAUX

Relecteur : Dominique DAVID

Nombre de pages du rapport (sans les annexes) :

44

Sommaire

Résumé	3
Introduction.....	7
1. La démarche mise en œuvre.....	8
1.1. Les submersions marines.....	8
1.2. La stratégie nationale de gestion des risques inondation.....	8
1.3. Le périmètre du plan de prévention des risques des marais de Dol.....	9
1.4. Les enjeux et les questions des élus.....	10
1.5. Une expertise scientifique.....	11
2. L'événement marin de référence.....	14
2.1. La cote de référence.....	14
2.2. L'évaluation du niveau marin extrême centennal.....	15
2.2.1. <i>Marée astronomique et surcote</i>	15
2.2.2. <i>L'effet des vagues à la côte</i>	16
2.2.3. <i>Le niveau centennal</i>	16
2.3. La prise en compte de l'énergie des vagues.....	17
2.3.1. <i>L'impact des vagues sur la digue</i>	17
2.3.2. <i>La sédimentation et le rôle atténuateur des bancs coquilliers</i>	17
2.4. Conclusion sur l'événement marin de référence.....	18
3. La digue de la duchesse Anne.....	19
3.1. Histoire de la digue.....	19
3.2. L'association syndicale des propriétaires des digues et marais de Dol-de-Bretagne.....	19
3.3. De quelle digue parle-t-on ?.....	20
3.4. L'étude de dangers.....	23
3.5. Synthèse des données recueillies sur la digue.....	25
3.6. La digue, présence rassurante d'une grande méconnue.....	25
4. La modélisation.....	29
4.1. Les caractéristiques du modèle utilisé.....	29
4.2. Les scénarios.....	30
4.3. Les résultats.....	31
5. Le plan de prévention des risques.....	32
5.1. Un gel du territoire ?.....	32
5.2. La prise en compte des singularités de la baie du Mont-Saint-Michel.....	33
5.3. Les scénarios d'accident retenus par la mission.....	34
5.4. L'adaptation de la cartographie et du règlement du PPR.....	37
6. Perspectives.....	39
6.1. Poursuivre l'acquisition de connaissance en baie du Mont-Saint-Michel.....	39
6.2. Gérer le haut de plage.....	39

6.3. Rehausser la digue, mais pas seulement.....	40
6.3.1. Renforcer l'entretien courant.....	40
6.3.2. Concevoir un renforcement, et non un simple rehaussement.....	41
6.3.3. La nouvelle protection, sujet d'aménagement.....	42
6.4. L'aménagement dans les limites communales ?.....	43
6.5. Après travaux, réviser le PPR.....	43
Conclusion.....	44
Remerciements.....	45
Annexes.....	46
1. Lettre de mission.....	47
2. Composition du comité scientifique.....	50
3. Synthèse des travaux du comité scientifique.....	51
4. Liste des personnes rencontrées.....	63
5. Réponses par thèmes.....	65
6. Cartes des tronçons de l'étude préliminaire aux travaux de renforcement de la digue.....	68
7. Carte des scénarios retenus.....	69
8. Stabilité interne des digues.....	70
9. Quelques photos du 21 février 2015.....	72
10. Glossaire des sigles et acronymes.....	75

Résumé

La traduction en zonage réglementaire des études réalisées pour la mise au point d'un plan de prévention du risque « submersion marine » du marais de Dol a suscité un refus des élus et de la population.

Cette opposition s'appuie sur plusieurs arguments. L'absence de dégâts au cours des dernières décennies, le développement des herbues devant la digue et la hauteur modeste des vagues à la côte ne paraissent pas justifier les hypothèses de brèche modélisées. L'inadaptation des principes techniques conduisant aux scénarios d'inondation du marais dans le contexte spécifique de la baie du Mont-Saint-Michel est dénoncée avec force.

En accord avec le président du Conseil général d'Ille-et-Vilaine, la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie a constitué un comité scientifique chargé d'examiner chacun des éléments contestés et de se saisir de toute question concernant les risques sur la digue de la duchesse Anne. Elle a confié au conseil général de l'environnement et du développement durable l'animation de ce comité, l'évaluation de la réalité du risque, l'appréciation de la pertinence des mesures proposées dans le projet, et lui a demandé d'envisager des perspectives d'aménagement pour l'avenir.

Le comité scientifique a apporté un éclairage précieux sur plusieurs points. Ses principales conclusions sont :

- La détermination de la valeur de l'événement centennal de référence a plutôt paru légèrement sous-estimée, tout en restant dans l'intervalle d'incertitude retenu, et conforme à la réalité de la baie.
- La sédimentation en pied de digue et l'amplitude des marées font que la mer en période calme n'atteint que très rarement la digue. L'expérience courante des effets d'une vraie tempête survenant en marée haute, vécue régulièrement à Saint-Malo, l'est rarement ici.
- L'effet d'amortissement des herbues et des bancs coquilliers sur l'énergie de la houle et des vagues, dans des conditions de hauteur voisines de 7,8 m est maintenant mieux connu, et très important. Toutefois, les mesures sur les secteurs où les bancs coquilliers sont arasés illustrent combien cet amortissement se réduirait pour les hauteurs d'eau plus élevées, survenant ponctuellement lors de tempêtes.
- Si la rupture externe de la digue par agression des vagues n'est pas un scénario retenu, d'autres causes peuvent conduire à la formation de brèches accidentelles, ou à la rupture de la digue par surverse, en fonction de sa géométrie, et de la nature des matériaux constitutifs de l'ouvrage. Le comité scientifique a apporté sur ces aspects un éclairage précieux.
- Le modèle hydraulique utilisé pour déterminer l'étendue de la zone inondable a été construit dans les règles de l'art.

La mission a ensuite procédé aux constats suivants :

- elle note que les bourgs anciens, établis sur de véritables tertres, sont le plus souvent hors risques. Elle signale par contre que les aménagements des bases conchylicoles se sont traduits par un abaissement important du niveau de sûreté de la digue, à Vildé-la-Marine et au Vivier-sur-mer.
- elle établit un état détaillé des scénarios critiques à modéliser, selon quatre modalités : tenue de la digue quand elle s'appuie sur des tertres coquilliers anciens, surverse sans brèche dans certains secteurs urbains, brèches d'ampleur variable selon la morphologie de la digue, et ruine complète par surverse dès lors que le niveau de l'eau dépasse de 20 cm le sommet de la digue. Ces hypothèses plus fines, et étroitement liées aux conditions d'énergie de la mer en baie, doivent permettre de réaliser une nouvelle modélisation.
- elle préconise quelques adaptations mineures pour affiner le modèle hydraulique à Vildé et au Vivier, ainsi que dans la dynamique de formation des brèches.

Compte tenu des multiples anomalies observées sur le linéaire censé être protégé par la digue de la duchesse Anne, la mission recommande de reprendre, dans les plus brefs délais, la mise en place du PPR sur la base de ses propositions.

La mise en état de la digue pour une cote de 9,50 m NGF est un objectif pertinent. Mais celle-ci prendra vraisemblablement 4 à 10 ans, selon les difficultés rencontrées dans certains secteurs.

La mission recommande donc :

- à court terme, la réalisation d'un bilan géotechnique de la digue, la mise en œuvre d'un programme de travaux d'entretien renforcé par l'Association syndicale des propriétaires de la digue et des marais de Dol et une vigilance continue sur l'état du perré protégeant la digue ;
- à moyen terme, une conception globale pour le renforcement – et non une simple rehausse – de la digue, avec une mention spéciale pour son réaménagement dans les secteurs urbains. Le PPR pourra être révisé après l'achèvement de ces travaux ;
- quelques hypothèses d'aménagement pour réduire localement certains impacts.

Ces mesures prendront place dans la stratégie locale de gestion du risque inondation, qui devra s'intéresser à l'organisation du territoire en associant le haut pays au marais et à la bande littorale.

Enfin, il paraît essentiel, dans la perspective d'une révision du PPR après travaux, de poursuivre certaines acquisitions de connaissance, de renforcer l'information préventive du public et la formation des agents des DDTM sur les risques liés aux digues.

Liste des recommandations

1. Clarifier par voie conventionnelle la situation de la digue dans tous les secteurs où le remblai des RD 155 et 797 est constitutif de celle-ci, en l'attente de la mise en place de la GEMAPI. (destinataires : préfecture, Conseil général, ASA).....22
2. Traiter les points de faiblesse urbains en urgence, la solution de continuité du Vivier-sur-mer, la réalisation d'un batardeau provisoire à Vildé ; puis définir les solutions définitives et les intégrer dans les ouvrages futurs. (mairie du Vivier, Hirel-Vildé, SPL, ASA).....22
3. Prescrire les compléments d'études géotechniques nécessaires à une bonne connaissance de la digue avec une échéance de 9 mois, pour finaliser l'étude de danger, et compléter le projet de confortement de la digue. (préfet, DREAL, et ASA).....25
4. Dès parution du nouveau décret digue, sensibiliser les élus du littoral sur le régime des travaux portant atteinte à l'intégrité de la digue. (préfecture d'Ille-et-Vilaine, maires).....25
5. Renforcer la formation des agents de DDT(M) et DREAL en matière de géotechnique des digues et de dégradation des ouvrages de protection, et mettre à leur disposition des outils pédagogiques tels que des films, pour illustrer sans catastrophisme les risques associés. (DGPR).....28
6. Procéder à une nouvelle modélisation à partir des scénarios de rupture sur la digue, et en déduire le nouveau zonage réglementaire du PPR. (DGPR, DDTM 35).....37
7. Relancer la procédure du PPR dans les meilleurs délais. (préfet, DDTM 35).....37
8. Assurer l'information des populations protégées par la digue sur son rôle et ses possibles fragilités par le canal de l'ASA à l'occasion de la perception de la redevance et en veillant à l'effectivité des réunions d'information des populations tous les deux ans, en insistant sur le respect de l'intégrité de la digue, et les mesures simples de réduction de la vulnérabilité. (préfet, maires, ASA).....38
9. Financer l'équipement en marégraphe du Mont-Saint-Michel pour une durée de 5 ans au moins. (DGPR).....39
10. Renforcer le programme d'entretien, constituer au plus vite une maîtrise d'ouvrage et lancer un projet global de sécurisation de la digue, reprenant les préconisations énoncées en partie 6-3. (préfet, ASA, collectivités locales).....43

Introduction

Le lourd bilan humain de la tempête Xynthia a fait prendre conscience des risques potentiels associés aux digues littorales, compte tenu de l'état d'entretien très inégal de ces structures, de l'importance des surcotes marines possibles et des perspectives d'élévation du niveau marin.

Des instructions ont été données aux préfets pour relancer ou réviser les plans de prévention des risques (PPR) traitant de ce phénomène dès le mois de juillet 2011. C'est ainsi que les travaux ont été engagés par la direction départementale des territoires et de la mer (DDTM) d'Ille-et-Vilaine pour le territoire protégé en premier rang par la digue de la duchesse Anne.

La définition de l'événement de référence a été partagée avec les élus, au fur et à mesure de la mise au point du guide méthodologique par la direction générale de la prévention des risques. Par contre, la présentation des résultats de la modélisation, et les conséquences en termes de zonage réglementaire ont suscité une opposition et une incrédulité profonde, tant dans la nature des événements à l'origine du phénomène que dans les conséquences pour le territoire situé en arrière des digues.

La visite de la ministre en baie du Mont-Saint-Michel le 4 décembre 2014 a permis un échange, qui s'est conclu par le principe d'une expertise scientifique de la pleine adaptation de la démarche d'élaboration de ce PPR aux spécificités du lieu, en particulier à la faible importance des vagues à la côte.

En collaboration avec le président du Conseil général d'Ille-et-Vilaine, un comité scientifique associant des spécialistes de la baie et ceux des thématiques techniques concernées par un tel projet a été constitué. Les questions posées ont été élaborées par la mission à partir d'une relecture des éléments du dossier, des entretiens réalisés lors de nombreuses rencontres sur place, de visites détaillées des lieux, y compris lors des grandes marées de février. Il est très vite apparu que la connaissance de l'état et du comportement de la digue, en particulier les mécanismes de rupture possibles, étaient les éléments essentiels de l'incompréhension des habitants et de leurs élus.

Le rapport articule les principales conclusions du comité scientifique avec une présentation de la digue de la duchesse Anne. Sont ainsi abordés l'événement de référence, la géotechnique de la digue et ses risques de rupture et la modélisation hydraulique. La mission procède ensuite à une mise œuvre de ces résultats pour proposer des scénarios affinés de crise, permettant la mise au point du PPR. Elle propose enfin un plan d'action aux acteurs locaux.

1. La démarche mise en œuvre

1.1. Les submersions marines

Le premier événement annonciateur de l'insuffisante prise en compte des surcotes marines et des risques de submersion a été la tempête Martin, qui a touché notre pays le 27 décembre 1999. Si la surcote liée à la dépression atmosphérique avait été bien prévue, celle liée aux vagues et à la configuration de l'estuaire de la Gironde avait été significativement sous-estimée. C'est ainsi que les digues du Blayais ont été nettement endommagées. Le site de la centrale nucléaire a connu des niveaux marins très élevés, avec surverse de digues calculées, vingt ans auparavant, pour un phénomène plus rare que millénal.

Le bilan humain de la tempête Xynthia et l'ampleur des destructions de digues ont confirmé ce décalage entre les déterminations de cotes de crêtes des ouvrages à la mer réalisées avant 1990 et la réalité des niveaux d'eau possibles.

De nombreux travaux scientifiques ont été engagés depuis, portant sur l'observation de la houle, la révision des méthodes de calcul des surcotes, les phénomènes de déformation de l'onde de marée à proximité du rivage, l'élaboration de valeurs de référence pour les surcotes marines à différentes fréquences et la recherche historique sur les tempêtes anciennes à l'origine d'événements analogues. La recherche sur ces thèmes est toujours très active¹.

Ainsi, pour les tempêtes, une publication d'octobre 2014 fait le point sur les événements d'une certaine importance en Bretagne².

La circulaire du 11 juillet 2011 relance la politique des plans de prévention des risques de submersion marine. Elle fixe les modalités de détermination de l'événement de référence, selon le secteur géographique concerné. Elle demande de prendre en compte l'élévation du niveau de la mer (la mer monte par dilatation de l'eau, dont la température s'est élevée à l'échelle de la planète, et la fonte des inlandsis du Groenland et de l'Antarctique ; ce phénomène va s'accroître d'ici 2100). Elle donne les principes des scénarios d'accident à retenir, selon la connaissance de la digue. Elle précise les modalités de zonage réglementaire du territoire en fonction de son caractère rural ou urbain, et selon les niveaux d'eau et leur vitesse en cas d'intrusion de la mer. Compte tenu de l'expérience, elle impose une bande de précaution au droit et à l'arrière de la digue, là où l'entrée de l'eau est la plus destructrice. Cette circulaire a été complétée par un guide méthodologique publié en 2014.

1.2. La stratégie nationale de gestion des risques inondation

Prévue par la loi du 12 juillet 2010, la stratégie nationale de gestion du risque inondation (SNGRI) a été élaborée sous le contrôle de la commission mixte inondation.

¹ L'aléa inondation : état de l'art préalable à l'élaboration du guide inondation pour les centrales nucléaires - IRSN

Gestion des risques d'érosion et de submersion marine : guide méthodologique - ANR Cocorisco

² VIMERS 1, étude des tempêtes menaçant le littoral breton, octobre 2014

Elle a été soumise à consultation du public et publiée par arrêté du 7 octobre 2014, signé des ministres de l'intérieur, de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, et de celle du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité.

Cette stratégie fixe trois grands objectifs prioritaires :

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

Pour ce faire, elle réaffirme les principes généraux suivants :

- la préservation stricte des zones inondables en milieu non urbanisé ;
- l'interdiction de construire en zone d'aléa fort ;
- lorsque les constructions sont possibles, l'adaptation au risque de toutes les nouvelles constructions en zone inondable ;
- l'inconstructibilité derrière les digues, sauf exception justifiée en zone urbanisée ;
- l'identification des zones dangereuses pour les vies humaines en y étudiant la mise en sécurité des populations existantes.

L'objectif est d'éviter une augmentation des constructions en zone vulnérable et qu'une rupture de digue et des inondations alourdissent la charge de la solidarité nationale et ne soient à l'origine de pertes de vies humaines supplémentaires.

Pour les populations actuellement installées derrière les protections, le renforcement de celles-ci permet de réduire la fréquence de survenue de ruptures. La mobilisation des financements comme les programme d'actions de prévention contre les inondations (PAPI) est toutefois clairement conditionnée à l'exigence de non augmentation des populations exposées.

Enfin, les conséquences de ces restrictions méritent d'être regardées à une échelle pertinente de territoire, qui est plutôt celle de la communauté de communes ou d'agglomération, que celle de la commune.

1.3. Le périmètre du plan de prévention des risques des marais de Dol

Le périmètre du PPR a été justifié par la présence d'un endiguement de premier rang unique, d'historique assez homogène, et doté d'un seul gestionnaire.

La partie située à l'est de la chapelle Sainte-Anne est composée d'un réseau de digues en profondeur plus récent, se prolongeant le long du Couesnon en amont du barrage de la Caserne. Il ne protège pas d'habitat dense. L'élaboration d'un PPR n'y est donc pas prioritaire. Par contre, la digue des polders de l'ouest a été classé en catégorie B,

car elle protège indirectement une partie des marais de Dol. L'étude de dangers de la digue aurait dû être remise avant le 31 décembre 2014, et n'a pas été rendue dans ce délai. Une mise en demeure d'y procéder sous six mois serait pertinente.



Figure 1 : plan de situation de la digue de la duchesse Anne, Source : Hydratec

Le secteur en rive droite du Couesnon relève d'un autre endiguement, et de problématiques urbaines qui n'ont pas d'interactions, en termes de risques, avec le périmètre des marais de Dol.

À l'échelle de la baie, la détermination d'un niveau de référence unique pour les PPR est acquise.

1.4. Les enjeux et les questions des élus

L'élaboration d'un PPR est très focalisée sur la définition de l'événement de référence, puis la construction de scénarios, et s'achève par la production d'un zonage restrictif de la constructibilité.

L'appréciation des élus ressort d'une logique différente. Ils perçoivent immédiatement les restrictions à l'aménagement de leur territoire communal, aux souhaits de leurs habitants. La rupture de la digue, dont ils pensent aujourd'hui qu'elle n'engage pas leur responsabilité, paraît hypothétique. Le bénéfice de la prévention semble lointain.

Le point de rencontre de ces deux réalités est d'imaginer un territoire vivant avec un risque cerné, identifié.

L'urbanisation dans les marais de Dol s'est faite jusqu'à une époque récente sur les tertres (anciens bancs coquilliers probablement renforcés par l'action de l'homme), sur leur revers, ou dans le marais sur des petites buttes. L'urbanisation s'est ensuite étendue en linéaire le long de la digue, et dans le marais en arrière des tertres, lorsque

ceux-ci étaient de dimension plus modeste (comme à Saint-Benoît-des-Ondes ou Vildé). Or le projet de PPR touche certains centres anciens, et remet en cause l'extension d'urbanisation vers le marais imaginée précédemment.

Les élus estiment que le projet de PPR du marais de Dol a été élaboré sans tenir compte des particularités de la baie du Mont Saint Michel, et donc que les mesures de restriction de l'urbanisation envisagées sont tout à fait excessives.

Considérant n'avoir pas été entendus par les services locaux et nationaux, ils ont demandé l'appui de la ministre.

Leurs arguments, développés par une association locale d'habitants, peuvent être regroupés sous les rubriques suivantes :

- la dernière rupture de digue qui remonte à 90 ans, témoigne du caractère exagéré du phénomène de référence. Même les surverses annoncées sur des portions de digue nettement plus basses que la cote de référence ne se sont pas produites depuis cette date ;
- les mécanismes de brèche sont inadaptés à la baie. À la différence de Saint-Malo, ou de la Vendée, la très faible pente de l'estran, l'altimétrie des bancs coquilliers et des herbues font que les vagues à la côte sont très faibles, sans énergie, et donc incapables de rompre la digue ;
- la sédimentation dans la baie est très active. L'herbu n'existait pas au Vivier il y a 60 ans. Il s'est développé ailleurs aussi. Les scientifiques exposent des rythmes de sédimentation de 1cm/an, voire 10 cm/an, qui garantissent que l'élévation du niveau marin sera compensée par l'élévation des fonds ;
- le modèle utilisé pour décrire l'entrée de l'eau dans le marais est inadapté ;
- les volumes d'eau entrant ne sont pas fournis et l'étendue de la zone dangereuse mérite d'être explicitée ;
- les dispositions en termes d'urbanisation vont conduire au dépérissement des communes ;
- dans la mesure où un maître d'ouvrage pour des travaux de rehaussement de la digue va bientôt être créé, et les travaux réalisés, les mesures d'interdiction sont pour une part inadaptées ;
- certaines prescriptions du PPR sont fantaisistes.

La ministre a donné son accord à un examen attentif de la bonne prise en compte des particularités de la baie, en mobilisant l'avis des meilleurs scientifiques des domaines concernés. Elle a rappelé que la décision revenant à l'État, elle prenait pour sa part un risque pénal en cas d'erreur d'appréciation.

1.5. Une expertise scientifique

À la demande du Conseil général d'Ille-et-Vilaine, les scientifiques travaillant sur la zone atelier de la baie du Mont-Saint-Michel ont été sollicités. Les établissements

publics de l'État ont également été conviés : le service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM), Météo-France, l'institut français pour l'exploitation de la mer (IFREMER), le bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA).

La composition du comité scientifique est détaillée en annexe 2. Son rôle a porté exclusivement sur l'examen des questions des élus et personnes rencontrées, complétées par les demandes des missionnaires, portant sur les hypothèses et méthodes utilisées. Il ne leur a été posé aucune question sur la politique de prévention des risques de submersion marine. Le conseil général a été associé à la préparation et aux séances de travail. La synthèse des échanges est elle aussi annexée au présent rapport (annexe 3).

La mission témoigne de la qualité des échanges, du souci d'éclairer les réponses apportées, en focalisant l'attention sur les phénomènes observés dans la moitié ouest de la baie moins densément suivie que les alentours du Mont lui-même. Le souci de donner des argumentaires simples, au-delà de la terminologie de leurs domaines scientifiques, de la complexité des calculs et des traitements de données a incontestablement facilité la rédaction du présent rapport.

Dans le même temps, différentes acquisitions de connaissance ont été lancées, en particulier à l'occasion des grandes marées de février et mars 2015. L'intérêt des résultats aurait été particulièrement grand si les conditions météorologiques avaient conduit à des surcotes significatives, de l'ordre de 50 cm. Il n'en a rien été.

Le Conseil général a lancé un appel d'offres d'étude pour mieux évaluer les services apportés par les bancs coquilliers et l'herbu, dans différentes configurations d'implantation, sur la propagation des houles. L'intérêt des mesures est d'autant plus grand que les conditions d'agitation et de cote de marée sont variées. Le protocole, validé par le comité scientifique, a été ajusté sur ses conseils. Suites aux premiers résultats, et à la faiblesse des surcotes constatées, le comité a recommandé au conseil général de mobiliser la tranche conditionnelle de son marché, pour être en mesure de procéder à des observations lors des marées à fort coefficient de 2015, en particulier si les prévisions météorologiques annoncent de très faibles pressions atmosphériques ou des vents très soutenus.

Plusieurs points de la baie ont été suivis en continu par des enregistreurs dédiés, à Cancale, à Saint-Benoît, au Vivier, au barrage de la Caserne et à Roche Torin. Des observations de terrain, avec nivellement, ont été réalisées par les agents de la DDTM lors des marées du matin pour les trois jours extrêmes de chaque série de marée.



Figure 2 : points suivis pendant les grandes marées, DDTM Ille-et-Vilaine

Un survol en hélicoptère permettant de réaliser des vues obliques a été réalisé le 21 février 2015 afin d'avoir une vision complète de la digue. Quelques-unes des photos prises à cette occasion sont présentées en annexe 8.

Une exploitation intensive du modèle numérique de terrain a été faite par la mission pour mieux cerner les singularités de la digue et contextualiser ses observations de terrain.

Enfin, Météo-France et le SHOM ont récemment adapté un modèle mathématique à « petites » mailles (200 m) pour modéliser la propagation des houles et vagues à la côte.

2. L'événement marin de référence

2.1. La cote de référence

La cote de référence est le niveau des eaux contre lequel une digue doit permettre de se protéger. Elle sert donc à déterminer la hauteur nécessaire de la digue. La cote de référence retenue pour le PPR du marais de Dol est de 9,12 m NGF³.

Le rôle d'une digue est de retenir les eaux. Dans le cas d'une zone de polder comme le marais de Dol, il s'agit d'empêcher la mer d'envahir cette zone située au-dessous du niveau des plus hautes eaux. Celui-ci dépend de plusieurs facteurs qu'il convient d'évaluer. La cote retenue dépendra alors de l'aléa contre lequel on souhaite se protéger. En France, la doctrine est de retenir l'événement centennal, ou l'événement historique le plus fort connu si ce dernier lui est supérieur. Cette même doctrine prévoit d'ajouter au niveau ainsi obtenu une marge de sécurité prenant en compte les incertitudes des méthodes de calcul et une première augmentation forfaitaire de 20 cm au titre de l'élévation du niveau moyen de la mer liée au changement climatique.

Les différents facteurs qui contribuent au niveau des eaux sont les suivants :

- **la marée** : elle est parfaitement prévisible et généralement bien connue. Son amplitude varie considérablement selon les régions. La zone concernée ici est reconnue comme l'une des régions du globe bénéficiant des plus grandes amplitudes, avec un marnage (différence entre marée haute et marée basse) pouvant atteindre près de 15 mètres.

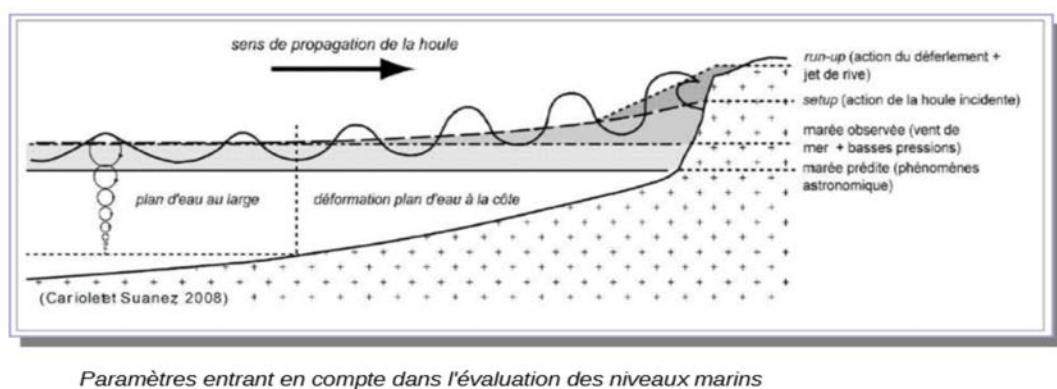


Figure 3 : Schéma montrant les paramètres à prendre en compte dans l'estimation de la cote de référence (marée astronomique, surcote, vagues)

- **la surcote atmosphérique**, qui résulte de la combinaison de deux effets :
 - la pression atmosphérique : des hautes pressions (anticyclone) induisent une baisse du niveau de la mer ; à l'inverse, des basses pressions (tempête) provoquent une élévation de ce niveau. Cet effet est d'environ 1 centimètre par millibar. Il peut donc atteindre plusieurs dizaines de centimètres au passage d'une forte dépression (et même 1 mètre lors d'un cyclone) ;

³ NGF nivellement général de la France, révision de 1969, égale à IGN 69

– le vent pousse l'eau et selon la configuration de la côte provoque une accumulation, donc une surélévation du niveau. Un estuaire ou une baie comme celle de la zone concernée sont propices à un tel mécanisme. Cet effet peut dépasser un mètre ;

- **les vagues** sont créées par le vent. Leur taille dépend de sa force mais aussi de sa durée et de la distance sur laquelle il s'exerce. On distingue en général la mer du vent (vague créée localement) et la houle (vagues créées loin de la zone). À l'approche de la côte, la houle peut provoquer une élévation du niveau des eaux (le set-up) et les vagues atteignant la côte ajoutent un dernier élément permettant de franchir un obstacle (le run-up). La zone concernée est une zone très abritée des vagues du fait de la forme de la baie et surtout de l'amortissement provoqué par la pente très faible du fond marin.

Ces facteurs sont plus ou moins dépendants (par exemple basse pression et vent sont fortement corrélés) et peuvent s'additionner.

2.2. L'évaluation du niveau marin extrême centennal

2.2.1. Marée astronomique et surcote

Pour ces deux facteurs, le niveau a été évalué à 8,55 m NGF dans le cadre du projet de PPR. Cette évaluation est basée sur la combinaison des hauteurs de marée de pleine mer, bien connues, et des surcotes de pleine mer, estimées à partir des mesures disponibles à Saint-Malo (longue série) et au Mont-Saint-Michel (Chapelle Saint-Aubert). Les mesures réalisées au Mont-Saint-Michel ne concernent que les niveaux marins supérieurs à 5,5 m NGF à partir desquels ce point est atteint par la mer. La série disponible est très limitée : le capteur installé de 1996 à 2012 n'a fonctionné correctement que de façon intermittente, limitant ainsi à environ cinq années la durée totale de mesures utilisables.

Les experts réunis dans le comité scientifique ont examiné la méthode d'estimation retenue et évalué la marge d'erreur affectant cette estimation :

- la cote de marée astronomique peut être déterminée en tout point moyennant 3 mois de données disponibles sur ce point ; ceci permet de déterminer le niveau de plus hautes mers astronomiques au Mont-Saint-Michel soit 8,12 m NGF ;
- une cause d'erreur possible est liée au fait que le niveau de haute mer peut varier le long de la digue du marais. Le relevé effectué par la DDTM 35 montre une différence de 5 à 10 cm entre Saint-Benoît-des-Ondes et la chapelle Saint-Anne lors des marées de février 2015. La valeur au Mont-Saint-Michel constitue donc plutôt un majorant pour la partie ouest de la côte du marais ;
- la durée trop courte de disponibilité de mesures de hauteur de marées au Mont-Saint-Michel, donc de détermination des surcotes, limite la validité des extrapolations pour déterminer la valeur centennale. La non prise en compte de la valeur record observée le 30 octobre 2000 (1,81 m), minore la valeur retenue. À l'inverse, la méthode retenue par Hydratec, et préconisée par le guide méthodologique « PPR littoraux », qui suppose indépendantes les marées et les surcotes, conduit à majorer la surcote retenue ;

- la zone concernée subit une légère subsidence évaluée à 0,5 mm/an, soit 5 cm d'ici 2100.

2.2.2. L'effet des vagues à la côte

L'effet des vagues n'est pris en compte, en ce qui concerne la cote de référence, que au travers de l'effet de set-up. Celui-ci a été estimé à 12 cm, basé sur une houle au large de 3,25 m corrélée à un niveau de pleine mer de 8,55 m NGF.

Le comité scientifique a également examiné cette valeur et a noté que :

- la méthode utilisée pour la détermination du set-up est critiquable et conduit à une sous-évaluation de sa valeur qui devrait plutôt être de l'ordre de la vingtaine de centimètres (19 à 28 cm) ;
- l'atténuation des vagues par les bancs coquilliers a aussi pour effet d'augmenter légèrement le set-up.

In fine, même si cette valeur de 12 cm est probablement sous-estimée, l'erreur commise reste dans la marge d'incertitude affectant l'estimation finale.

L'absence de prise en compte du run-up est liée à la spécificité du très fort amortissement des vagues à la côte.

2.2.3. Le niveau centennal

Les experts scientifiques considèrent que l'évaluation retenue conduit à une valeur qui, si elle est en deçà de la valeur approchée par les mesures directes, reste dans les limites de l'incertitude envisagée et est donc correcte. Le seul moyen de progresser consiste à allonger la durée d'observation au Mont. Autrement dit, une nouvelle estimation basée sur une série plus longue de données ou sur une modélisation spécifique, augmenterait sans doute légèrement la valeur retenue de 8,55 m tout en restant dans la marge d'incertitude.

En conclusion, le comité scientifique valide la valeur retenue à 9,12 m NGF, après incorporation d'une marge d'incertitude de 25 cm, et d'une première marge forfaitaire de 20 cm au titre du changement climatique.

Le comité scientifique n'a aucun doute sur le fait qu'en l'état actuel de la topographie de la cote de la digue de la duchesse Anne, un événement centennal dépasserait celle-ci dans plusieurs secteurs.

Dans l'optique de la révision du PPR, à prévoir après les travaux envisagés de rehausse et renforcement de la digue, il convient de relancer le plus tôt possible une acquisition de mesures marégraphiques au Mont-Saint-Michel à la chapelle Saint-Aubert (ce point fait l'objet d'une recommandation au chapitre 6).

2.3. La prise en compte de l'énergie des vagues

2.3.1. L'impact des vagues sur la digue

En dehors de cette prise en compte dans la cote de référence, un autre effet potentiellement important des vagues est leur contribution éventuelle aux mécanismes de rupture de la digue. Un tel effet est particulièrement mis en évidence à Saint-Malo qui est même devenu un lieu réputé pour l'observation des vagues à l'occasion des tempêtes (d'ailleurs mis en relief en février dernier avec l'incident d'une journaliste emportée par une vague). Cet effet a été longuement discuté dans les échanges avec les acteurs locaux qui en nient totalement l'existence dans le cas de la côte du marais de Dol. Il est exact que l'énergie des vagues à la côte reste modérée et très éloignée de ce qui peut être observé à Saint-Malo. Toutefois, elle ne peut être totalement négligée :

- l'orientation locale du vent peut, par effet de fetch, contribuer à maintenir une agitation à la côte, comme cela a pu être constaté lors de coups de vent de nord-est à Saint-Benoît-des-Ondes ;
- quelques événements, y compris récents, montrent que l'impact des vagues peut être important : un bon exemple reste la rupture du grand cordon coquillier de Vildé-Hirel lors de la tempête Johanna de 2008 ; un autre exemple significatif est la tempête des 5-6 avril 1962 qui, suite aux dommages importants subis par les ouvrages, a conduit le sénateur-maire de Dol à lancer le 29 mai 1962 l'appel suivant devant le Sénat : « *la rupture des digues de Saint-Malo à Paramé et de la baie du Mont-Saint-Michel, qui sont à la charge des propriétaires riverains, provoquerait une véritable catastrophe nationale, beaucoup plus grave encore que la malheureuse affaire de Malpasset* » ;
- les observations réalisées lors des grandes marées de février montrent que, même avec une situation météorologique peu perturbée, les vagues parviennent à atteindre la digue (voir les photos fournies en annexe 8, en particulier celle du Vivier) ;
- la capacité des vagues à atteindre la digue, et à y conserver de l'énergie, est d'autant plus forte que le niveau des eaux est élevé.

Bien entendu, l'impact des vagues sur la digue ne sera pas de même nature que les coups de boutoirs observés à Saint-Malo. Elles peuvent toutefois contribuer au déclenchement d'une érosion interne, particulièrement aux endroits où pré-existent des dégradations (état du perré, cavités en arrière du perré, affaissement, etc).

2.3.2. La sédimentation et le rôle atténuateur des bancs coquilliers

La question de l'impact des bancs coquilliers sur les vagues a été évoquée lors des entretiens avec les acteurs locaux qui considèrent que cela contribue très largement à l'atténuation des vagues. Si cela paraît assez évident, cela reste mal connu et peu documenté.

Un autre point souvent évoqué est l'impact de la sédimentation qui, d'une part protège le pied de digue et d'autre part pourrait atténuer l'effet de l'élévation du niveau de la mer lié au changement climatique.

Ces points ont également été abordés par le comité scientifique, conduisant aux remarques suivantes :

- en premier lieu la sédimentation est très différente entre la partie est et la partie ouest de la baie, la limite correspondant approximativement à la chapelle Sainte Anne. Elle est beaucoup plus forte à l'est, avec des valeurs observées localement variant de quelques mm jusqu'à plusieurs cm par an. Elle est beaucoup plus faible à l'ouest, c'est-à-dire la partie qui nous intéresse principalement, avec des valeurs de l'ordre de 1 à quelques millimètres par an ;
- les experts scientifiques ne sont pas en mesure de prédire l'évolution future de cette sédimentation, notant en particulier que le réservoir sédimentaire d'origine minérale, qui représente actuellement la moitié des apports, est pratiquement épuisé ;
- on peut noter que l'élévation prévue du niveau de la mer liée au changement climatique est de l'ordre de 3 mm/an ;
- une thèse, initiée à la demande de la DDTM 35, vient d'être lancée sur cette question de l'évolution de la sédimentation dans la partie ouest de la baie. Elle devrait permettre d'améliorer les connaissances dans ce domaine ;
- les premières mesures effectuées lors des marées de février et mars 2015 ont montré que les bancs coquilliers et le schorre atténuent les vagues dans une proportion de 86 à 99 % (à comparer à l'atténuation de 64 à 90 % par la seule faible pente de l'estran lorsqu'ils sont absents).

En conclusion, la sédimentation et les bancs coquilliers contribuent incontestablement à l'atténuation des vagues et à la protection de la digue. Il convient donc d'éviter toute action qui pourrait réduire cet effet protecteur. Toutefois, pour un niveau des eaux très élevé, cet effet sera sensiblement réduit.

2.4. Conclusion sur l'événement marin de référence

Le caractère remarquable de cet événement de référence est qu'il n'est observable que lors de la conjonction d'une forte marée et d'une surcote importante. Tant que cette conjonction n'est pas réalisée, la mer reste loin de la digue ou se contente de s'en approcher en restant d'un calme faussement rassurant. On est donc en présence d'un aléa pour lequel il n'y a pas d'événement alertant comme on peut en observer par exemple lors de chaque tempête à Saint-Malo. L'aléa reste pourtant bien réel : pour s'en convaincre, on peut noter que, pour simuler une tempête fictive, Météo-France s'est contenté de combiner la tempête du 13 février 2005 et la marée du 11 février (coefficient 108) soit deux jours avant⁴.

⁴ Météo-France : Rapport d'une étude de modélisation des états de mer et du niveau marin lors d'une tempête fictive dans la baie du Mont-Saint-Michel, 01/04/2015

3. La digue de la duchesse Anne

3.1. Histoire de la digue

La digue de la duchesse Anne a été construite au XI^e siècle, et sans doute dès le X^e, en s'appuyant sur de très importants bancs coquilliers, afin de protéger les terres du marais de Dol de Bretagne des intrusions marines, et d'assurer leur mise en valeur agricole. La partie est a été la plus longue à réaliser. Deux fonctions étaient à assurer : éviter les intrusions marines lors des grandes marées ou des tempêtes, et drainer les marais, puisque ceux-ci sont topographiquement beaucoup plus bas près du coteau qu'à proximité du littoral. Un réseau de cours d'eau a été constitué pour canaliser les eaux douces avec une pente inversée, et les rassembler en deux séries principales d'exutoires équipés d'ouvrages de coupure.

La période révolutionnaire s'accompagne d'un constat de très grande dégradation de l'état de la digue, aboutissant à des travaux de reprise importants.

Une association syndicale regroupant l'ensemble des propriétaires est constituée le 15 pluviôse an VII, soit le 3 février 1799, pour assurer l'entretien du réseau de canaux et de la digue.

Une évolution majeure dans l'histoire des marais est l'attribution d'une concession d'endiguement en 1856 conduisant à fixer le cours du Couesnon, qui avait été à l'origine de nombreuses ruptures de la digue de la duchesse Anne, et à la création progressive des polders de l'ouest. Aujourd'hui, à partir de la chapelle Sainte-Anne, la digue devient une digue de second, puis énième rang, sur 14,3 km. N'étant plus exposée aux assauts de la mer, cette partie est beaucoup moins bien entretenue et est largement boisée.

3.2. L'association syndicale des propriétaires des digues et marais de Dol-de-Bretagne

L'association syndicale autorisée (ASA) est dotée d'un conseil syndical de 56 membres, élus par les propriétaires dans les 22 communes concernées, parmi les propriétaires de biens situés dans le marais, pour une durée de sept ans. Ceux-ci sont très majoritairement des propriétaires de biens non bâtis. Le président de l'ASA, élu pour la même durée, s'est attaché au cours de ses deux mandats à retrouver une capacité d'action pour le quotidien, et à dégager les moyens de contribuer aux indispensables modernisations des infrastructures.

La possibilité ouverte par l'ordonnance du 1^{er} juillet 2004 de faire contribuer les différents types de propriétaires au prorata de leur intérêt à l'action du syndicat a été utilisée. Les ressources sont donc constituées par deux types de taxes, une assise sur la surface des propriétés dans le périmètre (23,75 €/ha en 2014, pour 12 000 ha, qui représente 60 % des recettes annuelles), l'autre calculée sur la valeur locative du foncier bâti, au taux de 4 %.

Le budget annuel de l'ASA est d'environ 475 000 € et lui permet de rémunérer cinq agents et de les doter du matériel nécessaire pour l'entretien annuel des canaux

principaux (près de 300 km), des nombreuses vannes situées sur les canaux d'assainissement, pour le fauchage et l'entretien ordinaire de la digue (maritime sur 17,2 km plus 14 km de digue terrestre) ainsi que pour la télégestion des ouvrages à la mer.

Lors des travaux d'automatisation des vannes secteur et de sécurisation des portes à flot et des clapets à la mer, réalisés sous la maîtrise d'ouvrage déléguée du Conseil général, l'ASA a pu apporter un concours financier à hauteur de 20 %.

Son président est extrêmement engagé, connaît remarquablement l'ensemble du périmètre de l'ASA et des ouvrages. Confronté à des attentes contradictoires des propriétaires, il arrive à garder une ligne de conduite qui préserve les missions et responsabilités du syndicat. Il est amené à rappeler aux élus et acteurs du territoire la nécessité de préserver le patrimoine digue, ce qui n'est pas toujours bien perçu. Ses inquiétudes devant les risques de submersion marine sont mal comprises d'acteurs qui ne mesurent pas les responsabilités qui sont les siennes et celles de l'ASA, ni d'ailleurs les leurs propres. Lui trouver un successeur aussi engagé sera un enjeu important pour le territoire.

Les entretiens font ressortir les positions ambivalentes des acteurs vis-à-vis du président et de l'association : ils lui reconnaissent sa compétence, le sens des responsabilités, mais ils trouvent qu'au fond il est un frein au développement local. Toutefois l'idée de remonter la responsabilité de la gestion quotidienne de la digue et du marais au niveau des collectivités locales ne suscite pas de volontarisme pour l'heure.

Le niveau d'entretien des canaux est bon, même si la maîtrise de la végétation arbustive mériterait d'être plus active pour limiter le risque d'embâcle dans les ouvrages à la mer. Les vannages, qu'ils soient situés dans le marais, ou à la limite de la mer, sont bien tenus. Le double système de contrôle à la mer, ouvrages automatiques plus ouvrages à crémaillère, manœuvrables manuellement si nécessaire, donne un bon niveau de sécurité. Plusieurs canaux secondaires sont équipés de simples clapets. Les quatre modalités de gestion des ouvrages à la mer témoignent d'une bonne appropriation des contraintes saisonnières du marais.

L'entretien de la digue par fauche est réalisé trois fois par an. Si les communes souhaitent intervenir plus souvent pour des raisons paysagères, elles peuvent le faire par voie de convention. Le maintien en état des rainures de batardeau est souvent difficile, de même que le respect de la crête de digue par les voies de cheminement vers l'estran. L'association a sollicité l'appui du laboratoire de ponts et chaussées de Saint-Brieuc dès 2006, pour mieux connaître l'état de son patrimoine digue, et poursuit cette collaboration. Elle a fait réaliser des études préalables aux travaux de renforcement de la digue, avec une analyse par tronçons.

3.3. De quelle digue parle-t-on ?

Pour les riverains, la digue est un ouvrage continu de Château Richeux à la chapelle Sainte-Anne, interrompue au droit des ponts sur les exutoires à la mer, qui appartiennent en tant que tels au conseil général, les appareillages réglant l'ouverture et la fermeture étant propriété de l'ASA.

Cette appréciation nous paraît insuffisante.

En effet, sur un linéaire de 9 km, la digue et le remblai des routes départementales 155 et 797 s'épaulent mutuellement et forment de fait un ouvrage unique. La cote de la route varie entre 8,1 et 8,70 m selon les secteurs. Il y a donc lieu de considérer que la digue a en fait deux co-gestionnaires, situation qui méritera une clarification pour l'étude de danger, et que la loi MAPTAM rend inéluctable.

La construction des bases conchylicoles a fait primer les facilités de gestion immédiates sur les impératifs de sécurité, et mis en place trois zones de fragilité pour la digue.

Aux Nielles, l'enrochement extérieur est calé au même niveau (insuffisant, à 8,35 m NGF) que l'ancienne digue, laquelle est aujourd'hui arasée sur la majorité de sa longueur pour faciliter la circulation des engins, ou pour se garer

À Vildé-la-Marine, les conchyliculteurs ont fait pression et obtenu la création d'une brèche dans la digue de 20 m de large, à la cote 8,25 m, pour disposer d'une deuxième entrée. Or l'enrochement de protection de la base a été conçu avec une crête à 8,20 m NGF ! nettement en deçà de la crête de digue initiale située entre 9,4 et 9,6 m NGF. Ce point n'est pas identifié dans l'étude de dangers.

En lecture réglementaire littérale, l'endiguement de protection est celui de la base conchylicole dans les deux cas. C'est lui qui devrait être classé, et les études adéquates réalisées dans les meilleurs délais. Il est urgent que les acteurs locaux prennent conscience de leurs responsabilités, au-delà de celles de la seule ASA.

Au Vivier-sur-mer, la digue a été volontairement interrompue au droit du camping et du port départemental. Le cadastre met en évidence un arrêt de la propriété de l'ASA à l'ouest du port départemental. Un acte d'échange foncier aurait été signé entre l'ASA et la commune. Un talus existe ensuite sur 100 m. Enfin, de l'angle nord est du camping municipal au pont, il n'y a plus de digue sur 250 m, avec des cotes de terrain naturel comprises autour de 8,30 m NGF, une route entre 8,7 et 8,57 m NGF en pente vers le centre-ville, très en dessous de la cote 9,5 m proposée comme niveau de référence futur dans le dossier d'étude de danger. Nos entretiens font remonter cette altération de la digue à plus de trente ans.

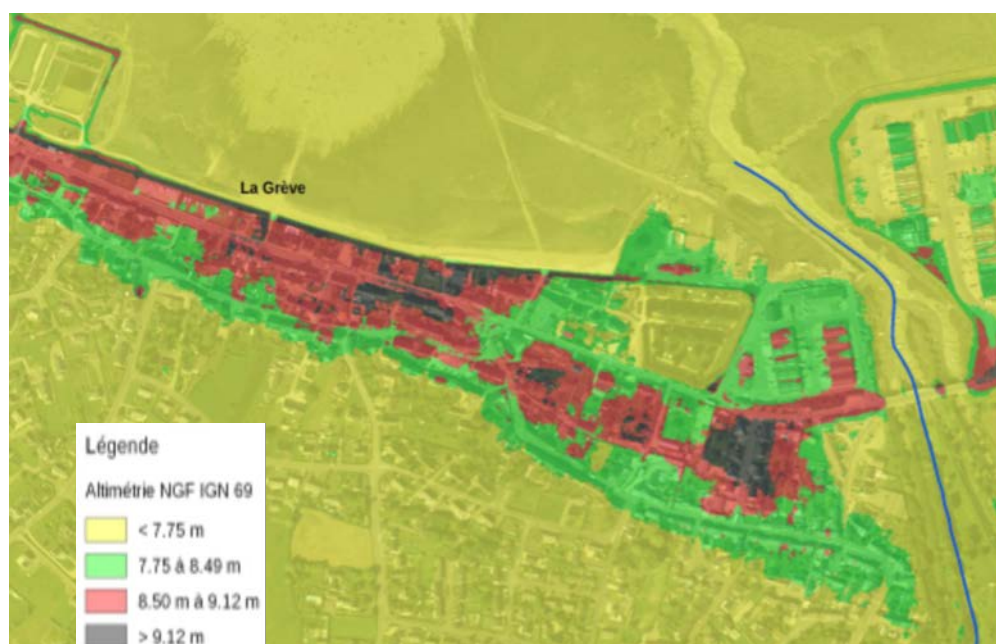


Figure 4 : *extrait colorisé du modèle numérique de terrain, Le Vivier-sur-mer : une situation préoccupante bien avant l'événement de référence. On distingue sur cette carte les cheminements possibles entre la mer et la zone arrière sans rencontrer d'obstacles supérieurs à 8,50 m NGF.*

La mission conclut que l'ASA n'est pas engagée sur ce tronçon manquant, qui relève aujourd'hui de la responsabilité générale de la commune. L'attention est attirée sur le fait qu'un simple remblai ne saurait constituer une réponse à cette situation d'absence de continuité. En cas de submersion, la responsabilité de la commune pourrait sans doute être recherchée.

Des travaux de terrassements ont été réalisés début mars 2015 le long du camping. Ils n'ont pas rétabli de continuité de protection au-dessus de 8,50 m NGF. Ils ne sont pas non plus protégés contre l'effet du batillage et des vagues. Ils ne seront donc pas pris en compte dans notre analyse.

Ces constatations conduisent la mission à faire les deux recommandations suivantes :

1. Clarifier par voie conventionnelle la situation de la digue dans tous les secteurs où le remblai des RD 155 et 797 est constitutif de celle-ci, en l'attente de la mise en place de la GEMAPI. (destinataires : préfecture, Conseil général, ASA)

2. Traiter les points de faiblesse urbains en urgence, la solution de continuité du Vivier-sur-mer, la réalisation d'un batardeau provisoire à Vildé ; puis définir les solutions définitives et les intégrer dans les ouvrages futurs. (mairie du Vivier, Hirel-Vildé, SPL, ASA)

3.4. L'étude de dangers

Au titre du décret « digues »⁵, la digue de la duchesse Anne a été classée de niveau B par arrêté préfectoral du 22 février 2011 pour sa hauteur supérieure à 1 m et une population protégée d'environ 15 000 habitants.

Le projet d'étude de dangers a pu être examiné par la mission. Sa qualité est supérieure à la moyenne des documents concernant des ouvrages littoraux (référence fin 2014), même si des manques significatifs, détaillés un peu plus loin, ont été relevés. La description des ouvrages et le compte rendu de visite technique sont précis et bien documentés.

Sont ainsi connus :

- La topographie de la crête de la digue, issue d'un dossier de rehaussement datant de 2011.

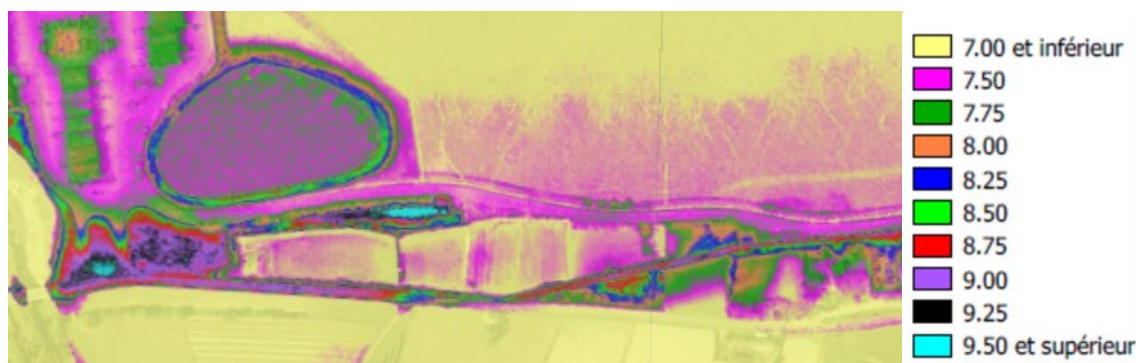
tableau 1 : *distance cumulée de digue comprise entre diverses cotes de crête (interpolation manuelle des données)*

⁵ [Décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007](#) relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement

Cote de crête en m NGF	8 à 8,25	8,25 à 8,50	8,50 à 8,75	8,75 à 9	Plus de 9
Linéaire en m	155	1 058	1 094	1 353	12 880

Ce récapitulatif ne comprend pas les points singuliers avec batardeau, ni 255 m à Saint-Benoît-des-Ondes et 420 m au Vivier.

- La topographie générale, par des coupes définies à notre demande à partir du modèle numérique de terrain à haute résolution réalisé dans le cadre du projet litto 3D (voir exemple ci-dessous, figure 5).



- L'état du perré, voire son absence, issu d'une reconnaissance très détaillée⁶ réalisée par sondages non destructifs, qui a permis d'identifier les altérations, qu'elles soient apparentes, ou masquées par la couverture enherbée fréquente sur la digue. Il est souvent non maçonné.

L'état visuel extérieur est bon dans l'ensemble, avec des anomalies tels que des affaissements ponctuels, des vides en arrière du perré non maçonné, la présence d'arbres sur la crête. À l'occasion des marées de février, un nouvel affaissement a été observé à proximité du lieu-dit Rageul, qui souligne l'intérêt d'un suivi attentif, et la rapidité de survenue de désordres dans une digue en apparence peu sollicitée par la mer.

L'étude de dangers n'établit pas le niveau de protection en l'état actuel de l'ouvrage : son analyse suppose réalisé le rehaussement à la cote 9,50 m NGF, sans autres détails. L'analyse des scénarios de rupture est très critiquable et l'évaluation de leurs effets n'est pas satisfaisante.

Grâce à des travaux de recherche menés par le laboratoire des ponts et chaussées de Saint-Brieuc (appartenant aujourd'hui au CEREMA), nous disposons par ailleurs :

- de trois profils géophysiques d'une longueur cumulée de 3600 m ;
- d'une dizaine de sondages, avec mesure au pénétromètre statique, et caractérisation partielle des matériaux sur trois profils de la digue.

De nombreuses photos ont été prises pendant les deux périodes de fortes marées.

⁶ Safège : études préalables aux travaux de renforcement de la digue, annexe 1 : sondages Juillet 2012. AS des propriétaires des digues et marais de Dol de Bretagne

Par ailleurs, le dossier ne mentionne pas l'existence de canalisations traversant la digue. Nos recherches ont permis d'en identifier trois, sans doute réalisées il y a plus de 20 ans, avec tranchée probable dans la digue. Une quatrième, plus récente et réalisée par fonçage, n'est pas préoccupante.

De même, l'existence d'une canalisation longitudinale dans la digue, réalisée en 2005/6 entre le bourg de Cherrueix et le lieu-dit la Laronnière n'est pas identifiée, alors que la réalisation d'une tranchée, puis son rebouchage avec des matériaux non spécifiés sont des facteurs de risque. Le maître d'ouvrage des travaux, réalisés sans l'accord du propriétaire de la digue, pourrait voir sa responsabilité recherchée, et être mis en demeure de procéder à des travaux de sécurisation à ses frais. La mission n'a toutefois pas pu être exhaustive dans son inventaire des facteurs de risques.

Enfin, les passages de la mission le long des digues ont montré que quelques riverains considéraient le perré comme une carrière, et venaient se servir en pierres à des fins privées (périmètre de feux sur la plage, escaliers). Ceci souligne une absence préoccupante de conscience du rôle et des fragilités de la digue.

Au final, la mission a été frappée par la connaissance très limitée du corps de l'ouvrage en tant que tel, connu dans les dimensions extérieures, mais peu qualifié dans sa structure, en particulier ses caractéristiques géotechniques. Certes, des documents d'archive montrent les dispositions constructives utilisées au début du 19^e siècle, mais l'état actuel de ces structures inaccessibles derrière le perré est inconnu. Or la connaissance des caractéristiques géotechniques est un point clé pour mieux cerner les scénarios accidentels. Cette méconnaissance de la digue est un facteur majeur d'insécurité. Y remédier est indispensable pour fonder un projet d'amélioration et, partant, réduire significativement la vulnérabilité des populations situées en dessous du niveau atteint par la mer.

Par ailleurs, des dégradations peuvent apparaître rapidement. Elles inquiètent l'ASA, mais semblent négligées dans les propos recueillis localement.

3. Prescrire les compléments d'études géotechniques nécessaires à une bonne connaissance de la digue avec une échéance de 9 mois, pour finaliser l'étude de danger, et compléter le projet de confortement de la digue. (préfet, DREAL, et ASA)

4. Dès parution du nouveau décret digue, sensibiliser les élus du littoral sur le régime des travaux portant atteinte à l'intégrité de la digue. (préfecture d'Ille-et-Vilaine, maires)

3.5. Synthèse des données recueillies sur la digue

Une synthèse des principales caractéristiques de la digue et du littoral entre Château Richeux et la chapelle Sainte-Anne est fournie dans un tableau, figurant en partie 5. Celui-ci se conclut par l'identification des scénarios d'accident proposés en application de la doctrine nationale, et en prenant en compte les spécificités de la baie.

Sont ainsi décrits :

- les tronçons de la digue, tels que proposés dans l'étude préalable aux travaux de renforcement de la digue, et repris dans l'étude de danger (voir annexe 6) ;
- la cote de crête minimum (corrigée chaque fois que possible au niveau des cales et batardeaux par la crête de haut de voirie), et moyenne de chaque tronçon ;
- l'existence ou non de batardeaux sur les points bas (risque) ;
- les manques, altérations actuelles du perré et les affaissements repérés (pour information) ;
- l'état de la ligne de rivage le 21 février 2015 ;
- la cote de pied de digue apparent, ou cote de haut de plage, déterminée à partir des laisses de mer, des profils en travers, du survol ;
- la largeur de la digue à la cote 8 m NGF ;
- la largeur de la digue à la cote 9,12 m NGF.

C'est la combinaison de ces paramètres qui déterminera, faute de plus de données géotechniques, le scénario accidentel qui sera retenu.

3.6. La digue, présence rassurante d'une grande méconnue

Les mécanismes de ruptures des digues sont mal appréciés par l'ensemble des habitants et élus du secteur, qui rappellent que le dernier événement remonte aux années 1922/24. Pour eux, l'analyse historique des brèches réalisée dans le cadre du PPRSM ne permet pas de situer leur emplacement, leurs causes, leurs conséquences⁷.

Indéniablement, la divagation du Couesnon a été un facteur majeur de rupture de la partie est de la digue de la duchesse Anne. Par ailleurs, le faible nombre d'habitants du marais avant le XX^e siècle, les événements toujours infiniment plus spectaculaires observés à Saint-Malo occultent sans doute la consistance des effets observés en baie. Pour autant, des descriptions assez précises mettent en évidence des ruptures en nombre sur la partie située à l'ouest de Cherrueix. L'absence de ruptures depuis 1922/24 est expliquée localement par un suivi plus rigoureux de la digue et par l'élévation du haut de plage. L'irrégularité de la survenue des phénomènes de grande surcote dans le temps ne saurait pourtant être oublié.

Au fil des entretiens, des données recueillies montrent d'ailleurs que les années récentes ont été moins calmes que revendiqué.

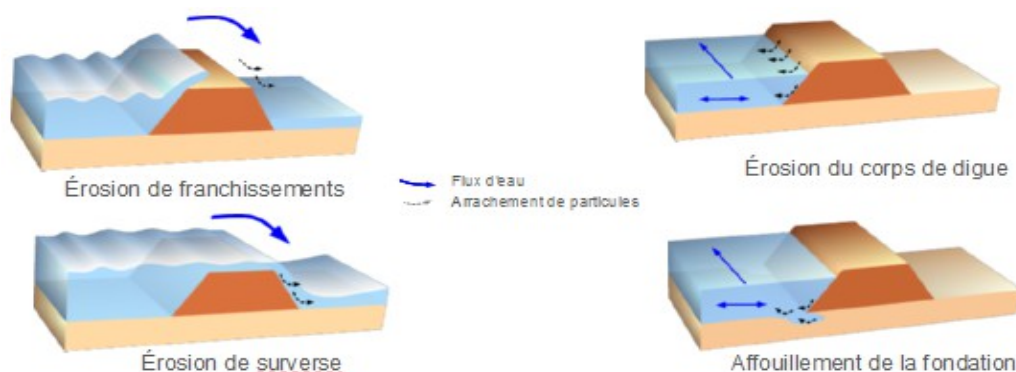
La tempête des 4 et 5 avril 1962, évoquée au Sénat par le sénateur-maire de Dol, est maintenant citée par certaines personnes, avec des paquets de mer au Vivier et à Cherrueix (le Rageul, rue de la cale). La sédimentation devant la digue a atténué le phénomène dans certains secteurs. Le camping de Saint-Benoît-des-Ondes a subi plus récemment des dommages lors d'un coup de vent de nord-est.

⁷ Voir document de phase 1 : analyse préalable du site

Les observateurs ont noté cette année que la digue des Nielles à Saint-Méloir-des-Ondes aurait présenté une faible marge si elle n'avait pas fait l'objet d'un renforcement provisoire. Celui-ci a été réalisé en urgence, avec des matériaux qui ne sont pas adaptés. Ils devront être remplacés, et le dispositif complété par un perré pour préserver de l'effet des vagues résiduelles. Notons que ce remblai a suscité les réactions de riverains se plaignant de la perte de vue sur la baie, alors qu'ils auraient été les premières victimes d'une rupture !... La partie allant à Château Richeux, moins accessible, n'a pas été renforcée, alors que sa crête est presque aussi basse.

Les principaux mécanismes de rupture d'une digue sont les suivants :

- la rupture par surverse, dès lors que le niveau d'eau dépasse 20 cm sur une digue enherbée, avec dénivelée aval significative ;
- la rupture par érosion externe, sous l'effet de l'énergie des vagues. Spectaculaire à St-Malo, ce scénario est très peu probable ici en raison de l'amortissement de la houle sur des fonds très plats, hauts (herbu, bancs coquilliers) sous réserve de vérification de la suffisance de la taille des pierres du perré dans quelques secteurs repérés par survol hélicoptère, cotés 5 dans le tableau de synthèse. La présence de végétation arbustive ou arborée peut aussi contribuer à dégrader la digue en cas d'arrachement par le vent ;



• **Figure 6** : mécanismes externes de rupture de digue, Source : Y Deniaud, CEREMA, 2014

- l'érosion interne, dont les causes sont multiples : les écoulements internes entraînant des éléments fins en cas de gradient hydraulique fort, la présence de terriers (observés dans les secteurs les plus ruraux), les érosions racinaires, les canalisations traversantes,.. L'existence de canalisations longitudinales peut aussi favoriser une accélération des écoulements au sein de l'ouvrage, du fait de la nature du lit de pose ;

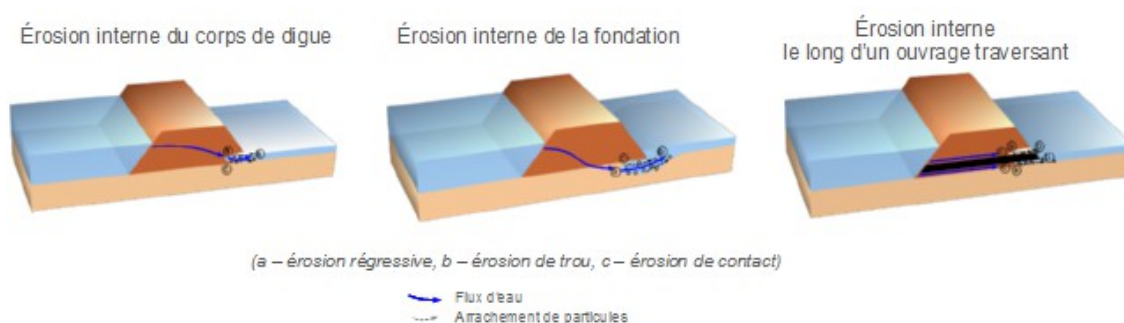


Figure 7 : mécanismes internes de rupture de digue, Source : Y Deniaud, CEREMA, 2014

- Les instabilités géotechniques, liés à la rapidité de la vidange, mais aussi aux problèmes d'interface entre matériaux, de glissement du corps de digue si les pentes sont fortes ...

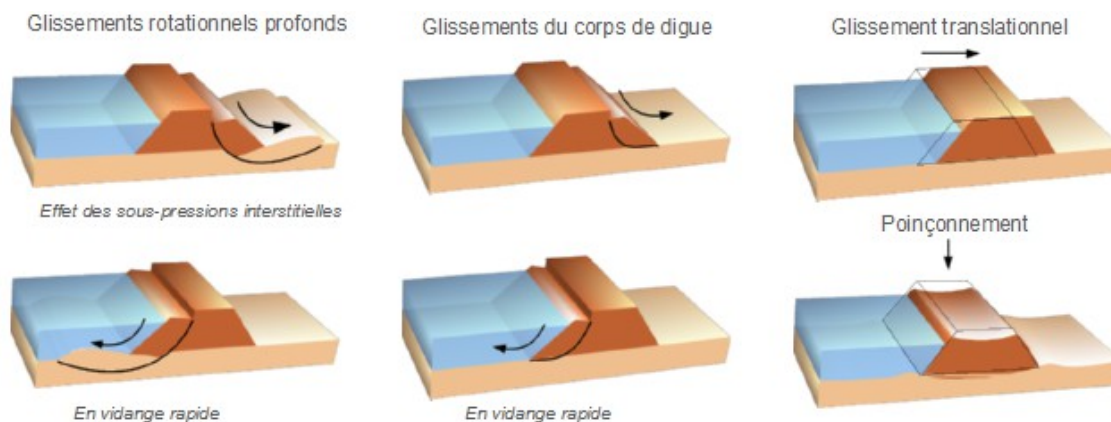


Figure 8 : Autres mécanismes de rupture de digue, Source ; Y Deniaud, CEREMA, 2014

La faiblesse des données disponibles ne permet pas d'écarter les phénomènes de rupture interne, ni de minorer les largeurs de brèche en l'état connu de la digue.

D'une manière plus générale, et les petits désordres constatés après les marées de février 2015 le montrent, la doctrine de non fiabilité des digues est pertinente même si l'énergie des vagues à la côte est faible à modérée (pour les grosses surcotes, où la profondeur d'eau est plus importante) dans la zone étudiée. Mais face aux convictions des acteurs locaux, les services en charge de l'élaboration du PPR ont été à la peine, faute d'appui technique et de formation, pour expliquer les mécanismes possibles et leurs conséquences, même quand la durée de cote marine dépassant 7,5 m est faible.

5. Renforcer la formation des agents de DDT(M) et DREAL en matière de géotechnique des digues et de dégradation des ouvrages de protection, et mettre à leur disposition des outils pédagogiques tels que des films, pour illustrer sans catastrophisme les risques associés. (DGPR)

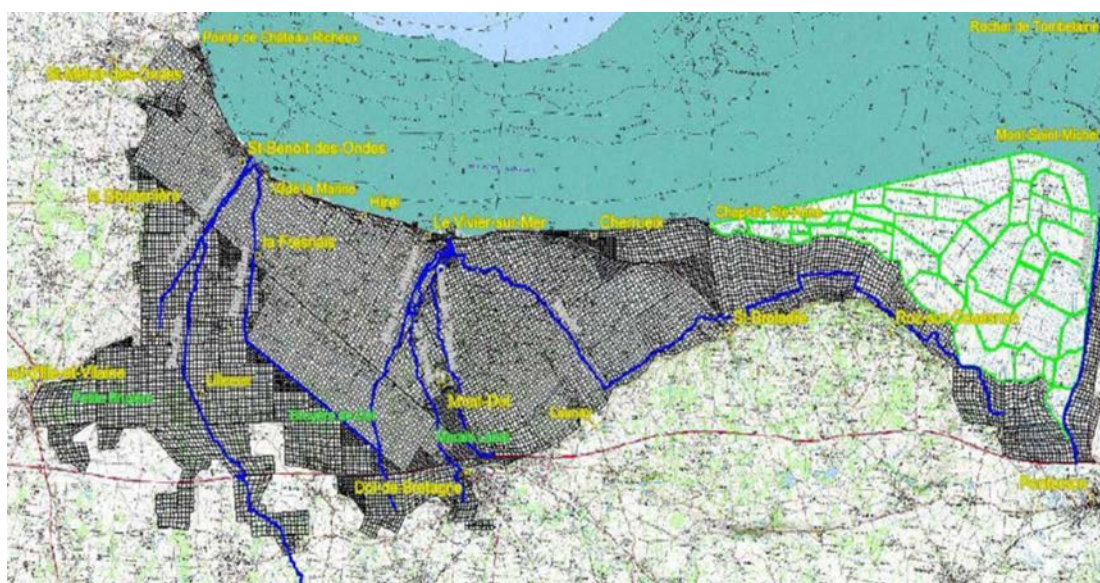
4. La modélisation

4.1. Les caractéristiques du modèle utilisé

Pour déterminer l'étendue des zones inondées par les différents scénarios d'accident sur la digue, une simulation des écoulements hydrauliques a été réalisée.

Le logiciel utilisé est l'un des classiques du marché. Il calcule les écoulements en régime transitoire, à partir des équations de Barré de Saint-Venant.

L'espace est représenté par trois types d'objets : un domaine filaire pour les écoulements dans les biez et canaux ; un ensemble de casiers (44), limité ici au secteur des polders de l'ouest ; un domaine bidimensionnel, à maille fine de l'ordre de 100 m, parfois moins, en fonction de la topographie, s'appuyant sur des limites caractéristiques (talus, routes, canaux...). Au total, le modèle compte 13 800 mailles. Chaque maille est définie par une cote altimétrique, une rugosité, et ses liaisons topographiques avec les mailles adjacentes. Les débits échangés avec les mailles adjacentes ou les écoulements filaires, la hauteur moyenne et la vitesse de l'eau sont calculés dans chacune de ces mailles à chaque pas de temps.



La digue correspond au bord du modèle. Les brèches et surverses sont définies comme des liaisons hydrauliques avec la mer, qui sont activées selon les scénarios d'accident choisis, par leurs dimensions hauteur et largeur, paramétrables. Les exutoires à la mer sont définis comme des orifices, avec des pertes de charges spécifiques.

Le niveau marin varie selon le marégramme imposé. L'alimentation côté mer n'est pas limitante.

Le pas de temps de calcul est auto-adaptatif, selon la valeur de la vitesse de l'eau dans la maille. Le rythme minimal est de 7,2 s, et le rythme permettant de définir les états de situation est de 6 minutes au maximum. Ces valeurs sont satisfaisantes pour la simulation réalisée.

Après examen, la mission considère que la qualité de ce modèle, son paramétrage et son pas de temps sont conformes aux règles de l'art pour un territoire représenté de cette dimension.

Pour représenter certaines singularités urbaines identifiées lors des visites de terrain, la mission a demandé d'affiner le modèle sur une partie du bourg de Saint-Benoît et du Vivier, pour lesquelles elle prend en compte une surverse sans rupture.

4.2. Les scénarios

Le scénario modélisé est une combinaison d'événements susceptibles d'avoir lieu simultanément. Ainsi, il a été retenu des apports décennaux liés aux pluies depuis le bassin versant du marais. Il est posé également que les portes à la mer sont anormalement restées ouvertes, du fait d'encombres par exemple. Cet aspect n'a guère d'impact sur l'inondation de la zone côtière.

Pour les brèches, il convient à la fois de considérer qu'elles n'auront pas toutes lieu en même temps, mais que leur localisation précise sur les tronçons identifiés n'est pas connue à l'avance. Aussi, le modèle est-il relancé plusieurs fois pour modéliser des brèches placées différemment, avec une distance suffisante entre elles à chaque modélisation pour que deux brèches simultanées n'interfèrent pas hydrauliquement entre elles. Au final, une simulation de brèche est faite tous les 300 à 400 m. Le zonage réglementaire est déduit du résultat de la modélisation la plus contraignante en chaque point du territoire.

Les conditions de représentation des défaillances ont été vérifiées par la mission.

La ruine progressive et linéaire en une demi-heure en cas de surverse a été validée. Le déclenchement est donné par le dépassement de 20 cm de la crête de la digue, connu par le lever topographique de l'ASA.

Pour les brèches, il est recommandé de passer d'une formation linéaire à une ouverture lente, s'accéléralant après un quart d'heure. La mission préconise de déclencher la brèche à la marée haute, et non quand la mise en charge de la digue atteint un mètre. L'hétérogénéité du haut de plage observée sur le terrain, la difficulté de l'utilisation des profils en travers rendaient le choix du premier projet de PPR difficile à fiabiliser. Cette nouvelle règle a pour effet de retarder la formation des brèches, mais est en accord avec la nature des causes possibles.

Un des points les plus délicats est la détermination du radier de chaque brèche ou ruine. Celui-ci est dépendant du niveau du terrain naturel dans le marais, du niveau de l'estran, mais aussi de sa morphologie. Une pente de plage plus rapide peut conduire à une petite fosse d'érosion, donc une brèche plus profonde, un débit entrant plus élevé ; une grande longueur d'herbe peut à l'inverse maintenir un niveau « relativement » plus haut. Les valeurs retenues vont de 6,75 à 7,5 m NGF. Ce faisant, il est possible que les volumes d'eau entrant soient sous-évalués.

La géométrie de deux secteurs du modèle, les zones conchylicoles des Nielles et de Vildé-la-Marine, est à reprendre pour intégrer leurs caractéristiques spécifiques. Une maille sera à ajouter en avant des limites actuelles, dont la cote de surverse sera celle de la digue de protection de la base, et il sera considéré que chacune d'elle n'est pas, vu leur nature, détruite par la surverse. Ce choix fera que les brèches ou ruine situées en arrière ne seront pas alimentées au-delà du premier cycle de marée.

4.3. Les résultats

Pour répondre à l'attente d'acteurs locaux, il est demandé à la DDTM, pour les nouvelles modélisations à lancer, que les valeurs de débit maximum soient données pour chaque type de brèche, à chaque cycle de marée, et les volumes entrants fournis.

Pour chaque maille, et aux fins de caractérisation des zonages réglementaires, la vitesse maximale est enregistrée, ainsi que la hauteur associée, et la hauteur maximale, avec la vitesse associée.

Pour finaliser le zonage, chaque maille est habillée avec le modèle numérique de terrain pour définir la hauteur d'eau en tout point. La très grande précision du modèle numérique de terrain (MNT) rend un lissage nécessaire pour une application pratique.

5. Le plan de prévention des risques

L'idée même que la digue puisse céder n'est acceptée ni par la population ni par les élus. Certes, la faible hauteur de certains tronçons est reconnue, mais l'absence de situation critique rassure. La ruine par surverse est mise en doute. A fortiori, la formation de brèche est exclue, puisque l'énergie des vagues à la côte est modeste. L'imminence des travaux de renforcement relève d'un consensus chez les élus municipaux rencontrés, qui considèrent donc la démarche du PPR comme excessive et prématurée.

Toutefois, à la question théorique systématiquement posée lors des entretiens, d'un éventuel renoncement au bénéfice de la solidarité nationale en contrepartie de l'abandon du projet de PPR, la mission n'a pu obtenir de réponse ...

Certes, le principe de mesures de prévention applicables en général est approuvé, mais les interlocuteurs de la mission estiment que les circonstances de lieux doivent permettre de s'en abstraire. La différence avec la situation de Saint-Malo est systématiquement rappelée. Seul, le président de l'ASA, directement concerné par la digue, manifeste une réelle inquiétude, mais mesure le poids de l'investissement et de la technicité nécessaires pour renforcer l'ouvrage.

Une réunion a été organisée à l'intention de l'ensemble des maires du territoire le 16 mars, avec la participation du président du Conseil général. Les observations en cours ont été détaillées. Les différents modes de ruptures des digues ont été présentés par le CEREMA. Si les effets de la surverse sont un peu mieux compris, les réticences à l'idée que des brèches puissent se former, la courte durée de mise en eau paraissant une garantie suffisante pour que le développement des désordres n'aboutisse pas. L'importance d'un suivi de l'état de la digue après chaque grande marée est mieux perçue, ainsi que l'importance de mieux connaître la constitution du corps de l'ouvrage.

Les difficultés de réalisation des travaux de renforcement de la digue ont tendance à être sous évaluées, en particulier dans les secteurs urbains. La place pour la rehausser est limitée, des accès privés pourraient être remis en cause, et certaines vues directes sur la mer réduites. La sensibilité des riverains sera sans doute importante, et les mises au point techniques du projet pas forcément simples. Un délai de 4 ans minimum est inévitable ; la réalité sera sans doute plus longue. L'élaboration du PPR doit donc être conduite en l'état actuel de la digue, sans attendre des travaux à venir, avec la survenue d'un événement centennal, donc immédiatement de l'ordre de 8,90 à 9 m NGF, et calé à 9,12 m par première anticipation du réchauffement climatique.

L'expérience montre que si un tel événement initialement jugé « incroyable » se produisait, il serait très vite jugé inacceptable et conduirait à la recherche de responsables.

5.1. Un gel du territoire ?

L'étape de présentation du projet de PPR aux élus dans son volet zonage, s'est traduit par un refus de dialogue, qui n'a pas permis d'échanger sur les restrictions apportées à

l'urbanisation. Le PPR est vécu comme une contrainte, s'ajoutant à la loi littoral, qui exige la continuité de l'urbanisation avec l'existant, et au projet d'extension des protections paysagères liées au Mont-Saint-Michel.

Pour autant, l'analyse des conséquences du zonage du PPR donne des résultats très variables selon les communes. Le tableau ci-après s'intéresse aux 7 communes les plus concernées. À l'exception de Saint-Benoît et du Vivier-sur-mer, il reste des marges appréciables de développement, au regard notamment des besoins identifiés dans les documents d'urbanisme.

	Potentialités identifiées (1)				Evaluation en ha du besoin foncier (3)	Commentaires
	En extension urbaine (en ha)		En densification (2)	Total		
	Prévue au doct. d'urbanisme	Non prévue au doct. d'urbanisme				
Saint-Benoit des Ondes	0	0	faible	0	6	Le territoire de cette commune est entièrement en zone rouge du plan de prévention.
Hirel	2,1	5,2	2,2	9,5	10	Les potentialités existent principalement au sud-est du bourg d'Hirel ; le bourg de Vildé- La Marine se situant entièrement en zone rouge du plan de prévention. Une potentialité importante existe en cœur de bourg (ilot NI)
Le Vivier-sur-Mer	0	2,8	0,6	3,4	6	Le bourg est ceinturé par des zones rouges de manière assez serrée.
Cherrueix	8	18	2,5	28,5	6	Fortes potentialités dans l'ensemble. Le solde urbanisable du secteur du Bas-Chemin est comptabilisé (2,3 ha), mais sa faisabilité juridique pose question si des continuités avec l'urbanisation existante ne peuvent être installées.
Mont-Dol	faible à nulle	15,6	1,6	17,2	7	Les potentialités identifiées sont en secteur à fort enjeux paysager et architectural . Au regard des dispositions de la loi littoral, il faudra veiller à établir la continuité à tout moment pour maîtriser les risques juridiques . Possibilités et modalités à faire valider par l'A.B.F.
La Fresnais	5,1	19,4	faible	24,5	9	Une partie du potentiel identifié (3,5 ha) suppose un projet de déplacement d'équipements sportifs situés en zone bleue du plan de prévention. Des potentialités existent à l'est du bourg, mais leur mobilisation est à envisager en dernier ressort, du fait de leur éloignement.
Lillemer	0	4,4	moyenne	4,4	2	La commune de Lillemer a prévu dans sa carte communale une extension de l'urbanisation du bourg au lieu dit le Sillon. Cette urbanisation est en cours, sous forme désordonnée et des potentialités y subsistent mais n'ont pas été évaluées. Le bourg présente par ailleurs des possibilités de densification, à organiser dans le respect des contraintes architecturales et au regard des contraintes archéologiques..
Total :						
	15,2	65,4	6,9	87,5	46	

(1) Il s'agit d'un repérage sommaire en considérant les secteurs en continuité des bourgs, zonés en zones bleues ou blanches par le projet de plan de prévention

(2) Seules ont été repérées les potentiels correspondant à plusieurs logements, situés en zone urbaine existante

(3) Le besoin foncier a été évalué à 16 ans, en considérant une prévision d'évolution démographique de 0,6 % l'an, pour une densité d'urbanisation de 15 logts / ha. Ce taux d'évolution prolonge l'évolution moyenne constatée sur le Pays de Saint-Malo sur la période 2006/2011, étant précisé que le ScoT prévoit une évolution de la population du Pays de Saint Malo de 20 % sur la période 2006 / 2030 (soit en moyenne 0,8 % / an).

Tableau 2 : Conséquences du zonage PPR sur l'urbanisme pour les communes les plus touchées, Source : DDTM Ille-et-Vilaine

Quatre communes ne sont pas touchées, car concernées par des franges du polder, et ce de manière marginale. Onze communes ne sont que partiellement concernées ; toutefois, l'essentiel de leur territoire, et leurs projets de développement, sont sur le haut-pays.

5.2. La prise en compte des singularités de la baie du Mont-Saint-Michel

De nombreux phénomènes étudiés à l'occasion de cette mission s'expriment de manière spécifique en baie du Mont-Saint-Michel.

L'amplitude des marées fait que des surcotes courantes ne se traduisent pas par des niveaux d'eau significatifs par rapport aux marées de grand coefficient. La différence

de niveau entre une marée de 100 et une de 110 est de 0,6 m. L'événement centennal nécessite donc la conjonction de marées de fort coefficient, au moins 105, et de fortes surcotes. Il survient brutalement, hors de l'expérience quotidienne des habitants, ici et encore plus qu'ailleurs. Toutefois, les horaires de marée font que ces phénomènes interviendront en début de matinée ou en fin de journée, et de manière anticipable, avec toutefois un risque significatif de fausses alertes, ou d'incrédulité en l'état de l'esprit de la population.

La sédimentation reste un phénomène actif, mais d'ampleur limitée dans la moitié ouest de la baie. En protégeant la digue par des sédiments, elle limite l'énergie des vagues. Même en faisant l'hypothèse d'une évolution au même rythme du niveau de la mer et du haut de plage, le facteur limitant restera la cote de crête de digue.

Si les vagues sont fortement atténuées en fond de baie, elles sont toujours présentes dès lors que le haut de plage est recouvert par la mer (par exemple à l'ouest du Vivier), et que l'effet protecteur des bancs coquilliers s'atténue.

Pour autant, il ne faut pas négliger ces phénomènes. Le niveau de référence du PPR est sensiblement plus haut que celui observé en février 2015. Sous l'effet de la tempête, les bancs coquilliers seront étalés, et une agitation non négligeable, pluri-décimétrique, arrivera à la côte, conduisant à de petits jets de vagues.

Les observations du 21 février 2015 ont montré que le pied de digue était modérément sollicité. Le léger batillage est toutefois suffisant pour que localement le sable soit enlevé derrière le perré avec formation de cavités assez profondes. C'est dans ces secteurs que l'énergie des vagues, pour relativement modeste qu'elle soit, devra renforcer l'attention sur la taille des blocs constituant le perré. Toute atteinte y sera spécialement dangereuse.

Il n'a pas été noté de configuration en cuvette marquée, à l'échelle d'un quartier d'habitation. Les bases conchyliques peuvent cependant constituer des pièges.

Sur près de 10 km, la hauteur de la digue est inférieure à 9,5 m NGF. Hauteur et largeur en crête ne sont pas suffisantes dans la perspective de l'élévation du niveau marin envisagé en 2100⁸. Si cet horizon paraît lointain, il ne l'est pas au regard de la « durée de vie » d'une maison d'habitation. La stratégie du territoire à long terme doit intégrer ce futur prévisible.

5.3. Les scénarios d'accident retenus par la mission

La mission a repris la démarche initiale, en mobilisant plus à fond les données topographiques, et les informations disponibles sur la digue. Elle a précisé les limites possibles des tertres sur lesquels les bourgs anciens sont situés, et dégagé des critères géotechniques pour les risques de rupture interne, les scénarios de rupture externe par les vagues ayant été écartés dans les conditions de la baie, et en présence du perré.

Les scénarios à modéliser tiennent compte des caractéristiques de chaque tronçon de la digue, identifiés par l'étude de dangers, puis regroupés si nécessaire.

⁸ Voir par exemple : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ONERC_Rapport_Vol5_niveau_de_la_mer_2015_VF_COUV-25-03.pdf

L'état de la digue telle que connu aujourd'hui, défauts ponctuels du perré, affaissements limités, rainures de batar dage manquantes ou dégradées n'est pas pris en compte dans les éléments de scénario, leur développement ne mettant pas la digue en péril au regard de la durée des petites réparations à entreprendre. Il n'en est pas de même là où le diagnostic a montré l'absence de perré, dans des secteurs présentant par ailleurs d'autres défauts.

La ruine complète dès lors que le niveau de l'eau dépasse de 20 cm la crête de la digue est confirmée, même si la durée de celui-ci est assez faible. Le film d'une rupture de digue sous une surverse centimétrique présenté le 16 mars illustre bien de ce scénario. L'existence de la route en appui de la digue n'est pas suffisante pour protéger l'ouvrage. Elle sera arrachée, et ruinée dans son tracé en zone rurale.

Dans les secteurs urbains, la hauteur d'eau est plus modeste. Les conditions topographiques sont prises en compte : enrochement massif vers le large (Le Vivier, Saint-Benoît), largeur du tertre, front bâti quasi-continu. Elles conduisent à des surverses sans brèche. Les rues menant vers l'intérieur du marais seront parcourues par de l'eau mise en vitesse pendant une durée limitée, le revêtement routier sera peut-être arraché, mais sans que l'érosion puisse rejoindre l'avant de la digue, et provoquer une brèche. La rue de la cale à Cherrueix est également concernée. La bande de précaution en front de mer sera supprimée.

Les secteurs où la digue est la face avant d'une butte large, probablement des bancs coquilliers datant d'avant le XI^e siècle, sont considérés comme des tertres, sans rupture. Les cales, dotées ou non de batardeaux sont des points de fragilité, et leur adaptation, voire un réaménagement complet (Cherrueix) lors des travaux est recommandée. En l'absence de brèche, les bandes de précaution seront supprimées dans le zonage du PPR.

A Vildé, dès que l'eau surversera l'enrochement des parcs conchylicoles, elle pourra passer par la brèche existante dans la digue, qui s'agrandira jusqu'à 50 m.

La définition des critères de rupture internes est le point délicat, en l'état de la très médiocre connaissance de la géotechnique de la digue. Le CEREMA a accepté de procéder à quelques calculs simples en utilisant les règles de Blight et Lane, et en considérant deux types de matériaux, des sables très fins et des sables fins. La géométrie de différents tronçons de digues a été utilisée pour procéder à des calculs, avec des cheminements de l'eau plus ou moins longs (voir annexe 8). Les situations les plus critiques sont celles où la différence de niveau entre la mer et le terrain naturel au revers de digue est la plus importante pour une distance aussi courte que possible.

Après examen de différents cas, une règle simple compatible avec les résultats obtenus, pour la topographie des terrains rencontrés, consiste à considérer que les largeurs de digue supérieures à 30 m à la cote 8 m NGF sont stables, et assimilées, en baie, à des tertres. Pour les secteurs ne satisfaisant pas à ce critère, la largeur de la brèche – 50 ou 100 m - est fonction de la géométrie de la digue. Pour une largeur de digue comprise entre 20 et 30 m à 8 m NGF, la brèche fera forfaitairement 50 m. Pour une largeur plus faible au même niveau, la brèche fera 100 m⁹. Ces situations correspondent à une largeur en crête faible, moins de 5 m à 9,12 m NGF, et à un terrain naturel atteignant rapidement 7, voire 6,5 m NGF.

⁹ Une publication en cours du CEREMA sur la dimension des brèches sur les digues maritimes indique une valeur médiane de 60 m, et une moyenne de 345 m.

La synthèse des scénarios est fournie dans le tableau 3 ci-dessous :

Lieu dit	Tronçon EDD	Cote de crête (mini/moyen)	Batarde aux	Altérations du perré	Ligne de rivage 21/02/15 **	Cote de pied estimée côté mer	Largeur mesurée à 8 m NGF	Largeur mesurée à 9,12 m NGF	Scénario
Chapelle Ste Anne	1	9,28 / 9,50		vides	1 et 2	7,8	28	14	B 50
	2	9,60 / 10,40	C		1 et 3	7,8	17	7	B 100
Le Han	3	9,5 / 10	O		1 et 2	7,9	15	8	
	4m	9 / 9,7		arbres	3 et 2		150	25	
	5	9 / 9,25			4 et 5		100	31	
Cherruailx	6	8,9 / 9	O		4 et 5	7,5 à 7,9	50	-	Surverse par la rue de la cale
	7	9,1 / 9,25			1 et 2		80	-	
	8	8,8 / 9,2	O		1 et 2	7,8	82	5	Surverses ponctuelles
	9	9,2 / 9,3			1 et 2	7,8	68	32	
	10	8,8 / 9,2			2	7,7 à 7,3	9 / 90	4 / 7	B 100
	11	8,9 / 9,3			4	7,3	44	8	Surverses locales
	12	9 / 9,3		affaissements	3	7,7	46 / 21	34 / 3	B 50
	13	9,15 / 9,25			3	7,8	18	4	B 100
	14	8,75 / 9,20	O		4		17	4	B 100
	15 et 16 E	9,4 / 9,5			5		16	3	B 100
La Laronnière	16 O	9,25 / 9,55	B		5		30	5	
	17	9,47 / 9,55			3	8,3 à 7,8	40 / 30	7	
	18 O	8,90 / 9			3	8	15	-	Surverse sans effacement 300 m
	18 E et 19	8,29 / 8,8		Absent	3	8	12	-	Effacement 460 m
Port du Vivier	19	8,25 / 8,55 / 9			5	4,2 à 7	120 / 300	-	Surverse sans effacement
Le Vivier / la Grève	20	9,1* / 9,35	2B_1C		4 et 5	7,2 à 7,6	130	7	
le gros Orme	21	9,19 / 9,25			2		93	8	
	22	9,16 / 9,4			4		25	4	B 50
	23	9,3 / 9,5			3		29	4	B 50
	24	9,55 / 9,8			3	7,8	13	5	B 100
Hirel bourg	25	9,4 / 9,55			4 et 5	7,5 à 8	62	7	
Bel air	26 + 27 E	9,5 / 9,9			3 et 4		56	25	
	27 O	9,82 / 10			4		22	12	B 50
La Quesmère	28	10 / 10,3			3	7,8	30	24	
	29 + 30 E	9,5 / 10,3		Absences de perré + vides	1, 2, 3 et 4		45 / 25	24 / 17	B 50
	30 + 31	9,28 / 9,55			1 et 2		40	15	
	31 O + 32 E						20	7	B 50
Vildé bourg	32 O	9,06 / 9,4	O		3		20	5	B 50
Bassins Vildé	33	8,30 / 9,4			1 et 4	Enrochement avant 8,25	20	3	B 50 et enrochement non fusible
biez / St Benoit	33	8,90 / 9,2			5	P	Mini 40 à 150	-	Surverse sans effacement
	34	9,12 / 9,30	D		2 et 5	7,8	45 / +150	1	
	35	9,10 / 9,40	B		2	7,2	30	1	
	36	8,35 / 8,65	O		4		13	-	Effacement 550 m
Niellès	37	8,3 / 8,45			4	7,6	15	-	Effacement 320 m
Bassins Niellès	38	7,83 / 8,4			5	Enrochement avant 8,35	22	-	Effacement 920 m
	39	8,15 / 8,75		vides	1 et 4	7,2 à 7,4		-	Effacement 270 m

* cote du profil en long, corrigée sur les cales par le MNT

** Ligne de rivage le 21/02/2015

1 mer séparée de la digue par un herbu ou banc coquillier large, supérieur à 20m au moins souvent plus

2 mer ayant contourné un banc coquillier, ou une ligne d'herbu et proche de la digue

3 haut de plage étroit, inférieur à 20 m par rapport à la digue

4 mer à la digue, pas de hauteur d'eau ni de vagues

5 mer s'élevant contre la digue, vagues et jets de vague

Tableau 3 : scénarios pris en compte par secteur (surverse, brèche, effacement). La carte correspondante figure en annexe 7.

5.4. L'adaptation de la cartographie et du règlement du PPR

La mission préconise l'actualisation de la cartographie du PPR sur les points suivants :

- un lissage des petites taches de zonage en zone urbaine, liées à la précision centimétrique du modèle numérique de terrain utilisé, en les reclassant dans la catégorie supérieure qui les entoure ;
- une reprise de la modélisation avec les nouvelles hypothèses de brèche, et en profitant de celle-ci pour déterminer le volume d'eau rentrant à chaque cycle de marée, le débit maximal, et en visualisant l'état de l'inondation à différents moments, sur au moins une brèche, dans un but pédagogique.

La mise en œuvre des solutions proposées au §5.3. par la mission pour les scénarios d'accident se traduiront par des modifications probablement non négligeables du zonage PPR pour les principaux bourgs, sauf Vildé et sans doute Saint-Benoît.

6. Procéder à une nouvelle modélisation à partir des scénarios de rupture sur la digue, et en déduire le nouveau zonage réglementaire du PPR. (DGPR, DDTM 35)

La nouvelle modélisation préconisée par la recommandation n°6 pourrait être disponible dans le courant du mois de mai et permettre ainsi de visualiser les conséquences pratiques des mesures proposées sur le zonage PPR.

7. Relancer la procédure du PPR dans les meilleurs délais. (préfet, DDTM 35)

En ce qui concerne le règlement, la mission ne propose que des ajustements de détail. L'obligation de disposer d'une pièce de secours hors d'eau, permettant une évacuation en période d'inondation dans les zones rouges du PPR est à conserver. Cette obligation est une condition pour obtenir l'aide du fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), à hauteur de 40 % du montant des travaux. Un examen par enquête terrain (un relevé systématique n'était pas possible dans le délai de la présente expertise), a montré que 4 à 5 % des habitations n'avaient pas d'ouverture à l'étage (la vérification de la présence d'une pièce nécessiterait de rentrer dans les domiciles). Moins de 1 % des logements sont des maisons à toiture terrasse, qui nécessitent une adaptation lourde.

L'obligation de disposer d'un anneau d'amarrage sera restreinte aux seules zones rouges. Dans les autres secteurs, l'arrivée de l'eau a une durée limitée pendant la marée haute.

Certaines dispositions constructives (Titre III, chapitre 3 du projet d'arrêté) mériterait d'être reformulées : « Au moins un ouvrant par niveau situé pour tout ou partie en dessous de la cote 2100 pourra être manœuvré à la main. »

Celle concernant les dispositifs de comptage de gaz et de téléphone serait à supprimer.

Le titre IV reprend à l'article 1-1 des obligations générales de la réglementation sur les digues, qui ne gagnent pas à être reprises dans le règlement du PPR.

A l'article 1-2, la pose de dispositifs d'arrimage sur les installations légères et autres unités mobiles paraît très peu réaliste. La mission propose de supprimer cette disposition.

Pour l'article 1-3, il est proposé la reformulation suivante : « les ouvrages d'évacuation hydraulique le long des canaux et à la mer devront pouvoir être manœuvrés mécaniquement, en cas de coupure de l'alimentation électrique ».

La rédaction du titre V devra être adaptée compte tenu observations précédentes.

Les entretiens réalisés au cours de cette mission montrent à l'évidence que la population est très peu consciente du fait qu'elle vit à l'abri d'une digue et que celle-ci peut facilement être fragilisée. Le nécessaire effort d'information des populations concernées peut rapidement prendre deux formes :

- d'une part utiliser la perception des redevances versées à l'ASA pour informer sur le rôle de la digue, son importance pour le marais de DOL, l'utilisation qui est faite de l'argent collecté ;
- d'autre part assurer la mise en œuvre des réunions d'information biennales qui doivent accompagner le PPR.

8. Assurer l'information des populations protégées par la digue sur son rôle et ses possibles fragilités par le canal de l'ASA à l'occasion de la perception de la redevance et en veillant à l'effectivité des réunions d'information des populations tous les deux ans, en insistant sur le respect de l'intégrité de la digue, et les mesures simples de réduction de la vulnérabilité. (préfet, maires, ASA)

6. Perspectives

Sans verser dans le catastrophisme, les éléments rassemblés montrent qu'une digue nécessite une vigilance permanente, et que des travaux mal conçus peuvent créer des vulnérabilités inutiles.

Les scénarios révisés prendront mieux en compte les effets de tertre, et le niveau actuel de sûreté des principaux villages. Le PPR est d'abord un signal d'alerte, et doit conduire à repenser l'organisation du territoire, pour que la gestion du risque, de contrainte devienne source de conception de l'aménagement. Une telle approche permettrait de trouver le dynamisme nécessaire entre un déni qui pourrait finir en catastrophe inacceptable, et un blocage trop strict des évolutions. Cette contradiction, de nature sociétale, ne peut se résoudre que par une meilleure connaissance des phénomènes naturels, et une adaptation des projets à leur expression extrême.

6.1. Poursuivre l'acquisition de connaissance en baie du Mont-Saint-Michel

La baie du Mont Saint Michel est, depuis plus de vingt ans, une zone atelier pour des travaux universitaires de nature très variée. Mais la moitié occidentale de la baie a moins bénéficié des recherches.

Aussi il nous paraît utile de mieux connaître les évolutions de la sédimentation dans cette partie. Un contrat de thèse est en voie de signature entre l'État et l'université de Caen, et devrait à la fois mieux quantifier les phénomènes, analyser les dynamiques locales, et essayer de répondre aux questions sur la sédimentation future.

Le marégraphe de la chapelle Saint-Aubert n'a pu être réimplanté dans le délai de cette mission. Le départ de la tange permit par le barrage de la Caserne implique une reconstruction complète de l'installation. Par ailleurs, les données à acquérir ont un intérêt de long terme. La remise en place d'un marégraphe sur le Mont est indispensable pour mieux calculer les surcotes, et réduire l'incertitude sur les fréquences rares. Compte tenu de son intérêt local, il est préconisé un financement rapide par la DGPR, avant une reprise dans le cadre d'un futur PAPI.

<i>9. Financer l'équipement en marégraphe du Mont-Saint-Michel pour une durée de 5 ans au moins. (DGPR)</i>
--

6.2. Gérer le haut de plage

La sédimentation en pied de digue est le moyen le plus efficace pour dissiper l'énergie des vagues avant leur arrivée à la digue.

En cas de forte surcote, les bancs sont déplacés vers la côte, peuvent être étalés, ce qui réduit temporairement leur effet atténuateur sur les vagues, mais contribue à l'engraissement du haut de plage. L'existence des bancs coquilliers, la croissance des herbiers sont donc des atouts à préserver dans un contexte de montée du niveau de la mer.

Si les extractions de sables coquilliers sont interdites (mais des indices d'extraction ont été observés près de Château Richeux), il est également souhaitable de s'interroger sur les conséquences de l'arasement des bancs pratiqué depuis 1986 au large des deux sites de char à voile. Le maintien d'une plage de sable se fait au détriment de la digue, qui subit des agressions plus importantes. Si un tel choix devait être maintenu, il semblerait logique que les collectivités prennent en charge un renforcement du perré.

6.3. Rehausser la digue, mais pas seulement

Le projet de rehausse de la digue ne doit pas occulter l'ensemble des opérations souhaitables. Par ailleurs, l'existence du site classé de la baie du Mont Saint Michel, la proximité de trois moulins inscrits comme monuments historiques doit inciter à associer l'architecte des bâtiments de France à la conception des solutions à mettre en œuvre, même si celles-ci seront dans l'ensemble à dominante rustique et s'intégrant bien au paysage.

6.3.1. Renforcer l'entretien courant

La mission a identifié de nombreuses petites interventions à la mesure de l'ASA, et qui limiteront les risques, sans nécessiter de procédures d'enquête :

- lancer les études géotechniques qui permettront de mieux connaître la nature des matériaux constitutifs de la digue, leur répartition spatiale, leurs caractéristiques mécaniques et leurs paramètres d'état (voir recommandation 3) ;
- procéder à l'injection des cavités en arrière du perré, chaque fois qu'elles auront été repérées ;
- recharger quelques cales ou accès à la digue, à la cote initiale (cale du Lac, cheminement à Vildé) ;
- créer des batardeaux sur des cales non équipées, par exemple au Vivier, à Cherrueix (Le Han), à l'entrée est de Vildé, après reprise de la digue ;
- essayer de créer un batardeau à la base conchylicole de Vildé-la-Marine, en attendant la mise au point d'une solution plus pérenne. En l'absence, l'hypothèse de brèche sera maintenue sur ce secteur ;
- déboiser la digue allant des Nielles à Château Richeux ;
- déboiser, au cours des trois années à venir, le tronçon de digue allant de la chapelle Sainte-Anne à la ferme Sainte-Anne, où elle joue un rôle de second rang, pour vérifier son état (terriers de blaireaux ?), éviter l'impact du déracinement des peupliers en place et mettre en œuvre un niveau d'entretien égal à celui de la partie de premier rang (attention au site classé) ;
- éliminer les arbres et arbustes situés sur les pentes des canaux conduisant aux exutoires à la mer.

6.3.2. Concevoir un renforcement, et non un simple rehaussement

Les élus ont exprimé clairement leur souhait de voir la digue rehaussée à une cote d'au moins 9,5 m, dans les meilleurs délais, une société publique locale (SPL) étant constituée pour réaliser ces travaux. Cette solution permet de bénéficier des aides du fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), dans le cadre d'un PAPI. Par contre, le fait que cette aide ne doit pas conduire à accroître la population exposée derrière la digue n'est pas encore compris comme une clause incontournable.

Le positionnement de cette SPL des collectivités et de l'ASA dans le nouveau cadre GEMAPI est encore très loin d'être clair. La mission tient à rappeler qu'entre la constitution de la SPL et l'achèvement des travaux, une durée de quatre ans paraît un strict minimum, alors que le sujet est déjà évoqué depuis plus de deux ans.

Le projet doit être l'occasion d'un projet global afin :

- de reprendre la digue au vu des résultats des études géotechniques pour l'épaissir (et relever la route autant que possible) en tant que de besoin, constituer les tronçons de parement en pierre manquants côté mer, quitte à les recouvrir d'un manteau herbeux pour une meilleure insertion paysagère, de rehausser la digue, pour une cote projet d'au moins 9,5 m NGF. La préservation de la digue passe aussi par une conception qui empêche le stationnement des véhicules, dont les campings-cars, sur celle-ci ;
- en zone urbaine, associer la défense contre la mer avec un traitement des espaces urbains : envisager un cheminement piéton rehaussé (Saint-Benoît), des parterres-digues paysagés (Le Vivier), modifier les accès au port par des franchissements adaptés de manière à garantir, si possible de manière permanente, la continuité de la protection ;



Figure 10 : croquis d'aménagements possibles

- à Vildé, essayer de restaurer la digue entre le bourg et la base conchylicole, une solution de batardeau créant de fait une fragilité évidente. Ceci passe sans doute par un réexamen des conditions de circulation ;
- au vu des données géotechniques, traiter, en tant que de besoin, le corps de digue pour lui donner un comportement adapté (secteur 10, voisin de la Saline à Cherrueix, ou à Vildé, par exemple) pour conforter de petits secteurs urbains topographiquement très contraints.

6.3.3. La nouvelle protection, sujet d'aménagement

En fonction des enjeux situés en arrière de la digue, certains travaux méritent d'être étudiés, quitte à les financer hors PAPI puisqu'ils n'y seraient pas éligibles. La protection devient en elle-même espace urbain. Des études complémentaires seront nécessaires pour vérifier la validité du concept.

Ainsi, remblayer une partie de champ sur moins de 100 m, à côté du moulin, entre Vildé et Le Bout-de-la-Ville pour assurer à la digue une largeur continue d'au moins 30 m à 8 m NGF permettrait de sécuriser ce secteur isolé. Une opération analogue entre Bel-Air et La Quesmière serait à examiner.

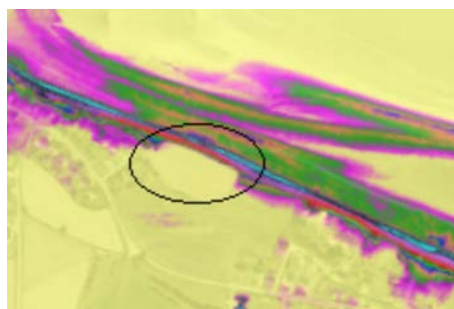


Figure 11 : Vildé, zone à aménager

Pour Saint-Benoît, le remblaiement du terrain compris entre la route littorale, le blockhaus, l'ancien banc coquiller bâti et la rue de la baie devrait permettre de constituer un tertre. Sa présence améliorera la protection du bas bourg (une fois la digue rehaussée et l'hypothèse de ruine remplacée par celle d'une brèche, sur la digue allant jusqu'à Château Richeux). Il semblerait alors possible d'y prévoir une extension limitée de l'urbanisation, en continuité du bourg, et de permettre l'aménagement de la grande dent creuse située juste en face. Une vérification de l'organisation des écoulements est à prévoir.

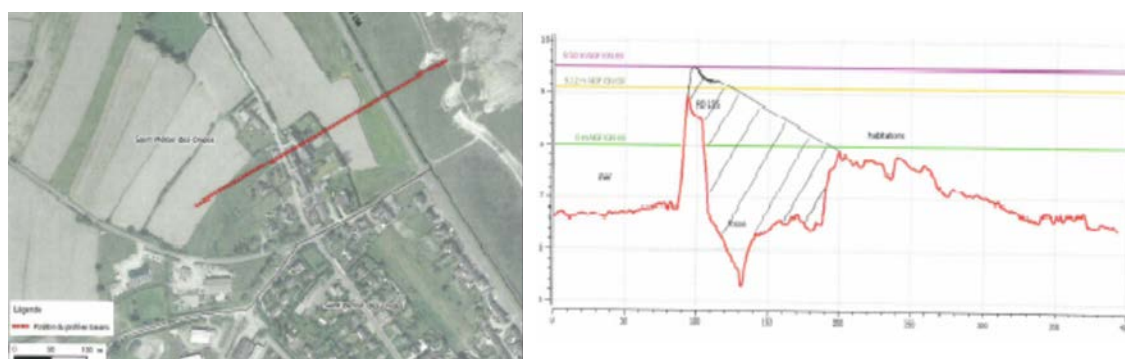


Figure 12 : coupe du terrain et esquisse d'un remblai

Par contre, la parcelle de l'ancien projet de lotissement communal restera exposée à un réel risque et demeurera sans doute non urbanisable après travaux.

10. Renforcer le programme d'entretien, constituer au plus vite une maîtrise d'ouvrage et lancer un projet global de sécurisation de la digue, reprenant les préconisations énoncées en partie 6-3. (préfet, ASA, collectivités locales)

6.4. L'aménagement dans les limites communales ?

Nous avons signalé que le projet de PPRSM avant ajustements ne se traduisait pas par un gel complet de l'urbanisation, mais par une limitation de celle-ci.

Pour des communes dont une large part du territoire reste à risque, l'utilisation des outils de l'aménagement de l'espace devient un enjeu majeur de manière à apporter la plus grande « utilité » possible à l'urbanisation des surfaces pouvant encore être construites. La révision des PLU, leur élaboration lorsqu'un POS existe encore, est donc une première étape. Les procédures de type ZAC sont à envisager par la suite.

Enfin et surtout, l'échelle de territoire appropriée dans un espace qui associe du haut-pays et une importante surface de marais est la communauté de communes, ou d'agglomération. Cette proposition qui peut paraître technocratique, est indissociable de l'appel à la solidarité nationale pour le financement des travaux sur la digue, et au recours au régime des catastrophes naturelles. Mieux même, dans la perspective de poursuite de l'élévation du niveau marin, une stratégie fondée sur le relèvement des défenses contre la mer butera sur des questions d'acceptabilité et de financement. C'est donc dès à présent que l'échelle de travail doit être revue, pour une stratégie sans regret. Les documents tels que le SCOT, et les PLU i sont la bonne échelle de gestion sur cet espace.

Le marais de Dol-de-Bretagne fait partie des territoires à risque important (TRI) tenus d'élaborer d'ici 2016 leur stratégie de gestion du risque d'inondation. Les propositions de cette sixième partie constituent autant d'éléments possibles de contenu. Il faudra les insérer dans une vision plus globale de projet associant le haut pays, le marais et la bande côtière.

6.5. Après travaux, réviser le PPR

Le renforcement de la digue n'exclut pas sa surverse par un événement plus rare, ni la suppression de tout risque de rupture. Par contre, pour l'événement de référence, et dans la perspective de 2100, la surverse peut être éliminée, et la largeur des brèches possibles limitée.

La transformation de certains secteurs en véritables tertres peut permettre d'éliminer certaines brèches, et d'éloigner les écoulements des zones les plus denses. Les dangers liés aux aménagements historiques des zones conchyliques peuvent également être surmontés, avec une mention particulière pour les bassins de Vildé.

C'est principalement en arrière des deux grandes zones de surverse avec effacement de la digue que l'ampleur de l'inondation sera réduite. La plus faible taille des brèches aura des effets moins marqués.

Conclusion

La détermination de l'événement de référence pour la submersion marine prend bien en compte les particularités de la baie du Mont-Saint-Michel.

Dans le contexte de la baie, l'érosion externe de la digue de la duchesse Anne sous l'effet des vagues est un phénomène marginal. Par contre, la surverse sur certains secteurs très bas peut conduire à sa ruine locale. Enfin, d'autres causes d'altération interne, peu détectables, peuvent être à l'origine de brèches. En exploitant au maximum le peu de données disponibles concernant la géotechnique et la topographie du territoire, la mission a mis au point un critère de risque de rupture interne de l'ouvrage.

Le travail réalisé permet de redéfinir les scénarios d'accident du PPR, et valide la pertinence du choix des anciens de construire prioritairement sur les anciens bancs coquilliers, sans doute réaménagés. Il permet de confirmer l'enjeu d'un entretien attentif et sans faille du perré qui protège la digue. Il est noté que les modalités d'aménagement des bases conchylicoles ont privilégié la commodité quotidienne au détriment de la sécurité, et ont dégradé de manière notable le niveau de sûreté de la digue. Un événement comparable à celui de 1922/24 aurait des conséquences fortes à Vildé-la-Marine, et peut-être au Vivier.

Une nouvelle modélisation des scénarios accidentels doit être réalisée. Elle devrait se traduire par une réduction sensible des zones réglementées du PPR dans les principaux bourgs, sauf à Saint-Benoît et Vildé.

La mission recommande trois axes d'intervention sur la digue :

- à court terme à l'ASA des Marais de Dol, pour renforcer son programme d'entretien ;
- à moyen terme, en confortant la digue, non seulement par rehaussement, mais en organisant son épaissement et en procédant, dans les bourgs de Saint-Benoît et du Vivier, à une réorganisation combinant gestion des espaces urbains et protection ;
- en suggérant quelques pistes ponctuelles d'aménagement, à la même échéance, pour réduire la vulnérabilité du territoire.

La mission fait par ailleurs diverses recommandations sur l'amélioration des connaissances concernant la baie, sur l'information du public et sur le renforcement de la formation des services chargés d'élaborer les PPR littoraux. Elle rappelle que l'élévation du niveau marin reste une hypothèque lourde pour l'avenir à long terme du secteur, dont la solution ne pourra reposer sur la seule protection.

Nicolas Forray



Ingénieur général
des ponts, des eaux et des forêts

Dominique Marbouty



Ingénieur général
des ponts, des eaux et des forêts

Remerciements

La mission se réjouit d'avoir pu travailler dans un excellent état d'esprit avec l'ensemble des membres du comité scientifique, qui ont accepté de dégager le temps nécessaire malgré leurs contraintes d'emploi du temps, ainsi qu'avec les représentants des services du Conseil général.

Elle tient à remercier les agents de la DDTM d'Ille-et-Vilaine pour leur soutien logistique, notamment les nombreux travaux cartographiques réalisés, et leurs recherches dans les archives.

Annexes

1. Lettre de mission

CGEDD n° 010117-01



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

La ministre

Paris, le 19 JAN. 2015

Monsieur le Vice-Président,

Lors de ma visite en baie du Mont Saint-Michel le 4 décembre 2014, les élus locaux m'ont fait part de leur regret que le projet de plan de prévention des risques de submersion des marais de Dol ne prenne pas suffisamment en compte, à leur sens, les spécificités de la baie du Mont Saint-Michel. Sensible à leurs arguments, j'ai souhaité que soient menées des investigations complémentaires pour mettre en évidence d'éventuelles spécificités de la Baie du Mont Saint-Michel qui n'auraient pas été prises en compte dans le projet de plan de prévention des risques de submersion marine prescrit le 23 juillet 2010.

La réalisation de ces travaux complémentaires sera assurée par un comité d'experts techniques reconnus pour leurs compétences spécifiques. Afin d'alimenter les réflexions autour de l'élaboration du plan de prévention des risques de submersion marine (PPRSM), ce comité sera composé comme suit :

- Un membre du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) assurant la coordination de l'équipe.
- Le professeur Jean-Claude Lefeuvre, président du Conseil scientifique du Conservatoire de l'Espace littoral et des rivages lacustres.



Monsieur Patrice PARISE
Vice-président
Conseil général de l'environnement et du
développement durable
Tour Séquoia
92055 PARIS LA DEFENSE CEDEX

Hôtel de Roquelaure – 246, boulevard Saint-Germain – 75007 Paris – Tél : 33 (0)1 40 81 21 22
www.developpement-durable.gouv.fr

- Le laboratoire de géomorphologie de Dinard UMR 8586 PRODIG (sédimentation et évolution des prés salés).
- Les universités de Rennes (UMR 6118 Géosciences) et de Caen (UMR 6554 LETG) (sédimentation et évolution des prés salés).
- Le laboratoire des dynamiques de l'environnement côtier de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (physique côtière).
- Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement et le Service hydrographique et océanographique de la marine (détermination de l'aléa, la houle, sollicitation des ouvrages et modélisations de brèches).
- Le Bureau de recherches géologiques et minières (évolution de la sédimentation dans la baie, sédimentation et changement climatique).
- Météo France et le Service hydrographique et océanographique de la Marine (changement climatique et son impact sur l'aléa et modélisation d'une tempête avec les grandes marées de février-mars 2015).

Le mandat donné au Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable et plus largement à ce comité technique est l'expertise de l'étude existante, et son complément si nécessaire, éventuellement sur la base des données observées lors des prochaines grandes marées de février-mars 2015. Cette expertise permettra de caractériser les différents facteurs, leur particularité et leur impact sur le contenu du projet de PPRSM et la poursuite de son instruction. Les résultats de cette mission devront m'être communiqués au plus tard le 10 avril 2015.

Ainsi, de manière spécifique, la mission d'inspection devra vérifier si l'instruction du PPR tient bien compte des éléments du site et peut se poursuivre dans les termes finalisés à l'issue des discussions avec les élus, ou si elle doit prévoir un aménagement notamment sur la question des brèches modélisées sur les parties non-surversées. Les services de la DDTM, le bureau d'études Hydratec, le gestionnaire de la digue ainsi que le bureau d'études SAFEGE ayant réalisé l'étude de dangers pourront être sollicités autant que de besoin.

La mission pourra également se prononcer sur la pertinence de réflexions de moyen ou long termes dont les résultats pourraient alors être intégrés à l'occasion d'autres échéances, telles que la révision du plan de prévention des risques de submersion marine suite au rehaussement de la digue, ou encore l'élaboration de la stratégie locale du territoire à risque important d'inondations.

Une campagne d'acquisition de données de hauteur d'eau durant les grandes marées de février-mars 2015 sera également réalisée par le Conseil Général d'Ille-et-Vilaine. Elle se fera en concertation avec les ingénieurs du CEREMA

afin de définir la localisation des points de mesure et la bonne mise en œuvre du matériel.

Les conclusions de l'ensemble de cette mission seront communiquées lors d'une réunion publique qui se tiendra au printemps prochain.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Vice-Président, l'expression de mes salutations les meilleures.



Ségolène ROYAL

2. Composition du comité scientifique

LEFEUVRE	Jean-Claude	Président du conseil scientifique du Conservatoire du littoral
BARAER	Franck	Météo-France bureau d'études et climatologie Direction Ouest
DENIAUD	Yann	CEREMA
CAYOCCA	Florence	IFREMER, labo PHYSED
BONNOT-COURTOIS	Chantal	Directeur de recherche CNRS UMR 8586 Prodig
VERGER	Fernand	Professeur émérite ENS
TESSIER	Bernadette	Université de Caen Basse-Normandie UMR 6143
ROBIN	Marc	Université de Nantes Directeur de l'UMR 6554
LE MAO	Patrick	IFREMER station de Dinard
ETIENNE	Samuel	EPHE, directeur du laboratoire de géomorphologie et Environnement et Environnement Littoral
CRAVE	Alain	Université Rennes 1 UMR 6118
PRONOST	Ronan	SHOM
PEDREROS	Rodrigo	BRGM
OLIVEROS	Carlos	BRGM

Les réunions du comité scientifiques ont été organisées conjointement par le CGEDD et le CG35 pour lesquels participaient :

- pour le CGEDD : Nicolas FORRAY et Dominique MARBOUTY
- pour le CG35 : Christine ALLAIN-ANDRE et Thierry ROBIN

Ont également assisté :

- le responsable du pôle « risque et crises » de la DDTM 35, Cédric PEINTURIER
- des experts de l'EPHE, Antoine COLLIN et Matthieu JEANSON

3. Synthèse des travaux du comité scientifique

Expertise de données et modélisations ayant permis d'élaborer le PPR submersion marine du marais de Dol

Comité scientifique 4 février et 25 mars 2015

Étaient présents (voir fin de texte)

Questions posées (voir fin de texte)

Introduction portant sur le rôle attendu du comité scientifique par les représentants de l'État et du Conseil général d'Ille-et-Vilaine

Rappel des données et des méthodes utilisées pour définir le niveau marin de référence du PPR SM.

Présentation de la modélisation hydraulique et des modalités de construction des cartes de zones inondées.

1- Détermination du niveau marin de référence

La détermination précise des cotes de marée astronomique nécessite au moins 3 mois d'enregistrement continu des hauteurs d'eau pour caler un site par rapport à un point de référence (Saint-Malo par ex.). Par exemple, une année de mesures à Granville a permis de rectifier le niveau des plus hautes mers astronomiques de 7,88 à 7,63 m NGF (source SHOM, Références altimétriques maritimes 2014, ouvrage disponible en ligne sur <http://diffusion.shom.fr/produits/references-verticales/references-altimetriques-maritimes-ram.html>).

Le niveau au Mont Saint-Michel a été précisé à 8,12 m NGF.

La valeur en référence NGF du niveau de la plus haute mer astronomique varie le long de la côte. Le choix de la valeur de 8,12 m est plutôt majorant, en particulier pour la partie ouest de la digue de la duchesse Anne. Le niveau d'eau a été mesuré 5 à 10 cm plus haut à la chapelle Sainte-Anne par rapport à Saint-Benoît-des-Ondes (vérification mesures DDTM 35).

L'augmentation du niveau moyen de la mer à Saint-Malo est équivalent à celle relevée à Brest sur la période 1980-2005 (exploitation des données par G Wöppelman, LIENSs, Université de La Rochelle).

L'élévation des niveaux extrêmes par rapport au niveau moyen de la mer, dans la gamme 0 / + 0,50 m a été expertisée comme étant de même ampleur à l'occasion des études sur le RCM¹⁰.

Les travaux de Lenôtre (1999) évaluent à 0,5 mm/an la subsidence des terrains du nord-est de l'Ille-et-Vilaine, soit 5 cm d'ici 2100. Un récepteur GPS permanent est

¹⁰ RCM : Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel

implanté sur le marégraphe de Saint-Malo depuis 2010 et permettra de préciser cette valeur d'ici 5 ans.

2- Calcul de la surcote (effet de la pression atmosphérique et du vent)

L'équivalent des 5,2 années de suivi au Mont-Saint-Michel est précieux, mais limite la validité des extrapolations, en particulier pour la valeur centennale de surcote.

Après vérification des données, les surcotes déterminées à la chapelle Saint-Aubert sont des valeurs de pleine mer, ce qui est pertinent pour la détermination de la cote de référence du PPR. L'appareil ne pouvait enregistrer que les niveaux supérieurs à 5,5 m NGF (soit 245 marées par an). La surcote du 30 octobre 2000 a été contrôlée.

Le comité note que ces valeurs de surcote au Mont-Saint-Michel sont fondées par comparaison avec les valeurs de hauteur de marée calculées par le SHOM. La DDE de la Manche corrigeait pour sa part ces cotes selon une formule empirique ($PM \text{ en NGF } 69 = PM \text{ du SHOM } - 5,59 \text{ m}$), ce qui aboutissait à des surcotes systématiquement plus faibles.

Deux hypothèses de traitement ont été envisagées par Hydratec :

- utiliser le maximum du 30-10-2000 et retenir au final une valeur de surcote centennale de 2,04 m
- écarter ce maximum, ce qui aboutit à ne pas avoir de surcote supérieure à 1 m sur la période, ce qui paraît faible. La valeur centennale retenue ensuite pour les calculs est de 1,44 m. Ainsi, toute la série de données est comprise dans l'intervalle de confiance à 70 % de la loi statistique utilisée.

Ce choix est discuté : le maximum de 2000 est également observé, avec une valeur élevée, à Saint-Malo. La situation météorologique n'apparaît pas exceptionnelle ce jour-là. Sa mise à l'écart minore la valeur retenue pour le niveau de référence.

La méthode utilisée pour définir les niveaux d'eau en baie est utilisable dans des configurations de côte simples, et quand les surcotes et le niveau de marée sont indépendants, ce qui n'est pas le cas en baie du Mont-Saint-Michel. C'est toutefois la méthode recommandée pour les sites à fort marnage (source : Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes – environnements maritime et estuarien. CETMEF avril 2013 <http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/analyse-statistique-des-niveaux-d-eau-extremes-a1096.html>), même si elle conduit à majorer le niveau d'eau, une fois l'échantillonnage réduit retenu. À noter également que, faute de données disponibles, la détermination des couples centennaux hauteur de vague / niveau d'eau repose sur une méthode simplifiée d'analyse des concomitances majorante. Le point le plus limitant est bien la faible durée d'observation disponible à la chapelle Saint-Aubert. Il serait judicieux de disposer d'une série d'observations plus longue, et d'optimiser l'ajustement statistique. Une modélisation ne permettrait pas de gagner significativement en précision.

L'analyse statistique pour traiter les surcotes n'a pas respecté les meilleures pratiques, mais ce dans un contexte très singulier. Globalement, les choix d'Hydratec minorent plutôt le résultat.

Il est recommandé de remettre en place une observation des niveaux marins au Mont-Saint-Michel pour augmenter l'échantillon disponible, pendant 5 ans au moins, permettre un traitement statistique plus robuste et des extrapolations plus fiables.

3- Climat de houle, impact du vent

Les données utilisées pour la houle au large peuvent être remplacées par des informations plus récentes qui viennent d'être publiées (Bulteau et al. 2013 <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-62730-FR.pdf>). Les résultats recoupant mesures (bouée de Minquiers) et modélisation (ANEMOC) conduisent à un relèvement de 0,60 m de la hauteur significative des vagues pour l'événement trentenal. L'étude minore donc le phénomène entrant.

L'hypothèse de stationnarité des vents forts n'est pas remise en cause à moyen terme, les prévisions du GIEC ne donnant pas d'indication d'une évolution significative et partagée dans ce domaine.

C'est l'orientation régionale du vent qui compte pour provoquer des surcotes dans la configuration géométrique du golf normand-breton, en particulier l'effet de blocage de la côte du Cotentin pour des vents de secteur ouest, et non pas, comme certains ont pu le dire une orientation limitée au NW-NE.

L'orientation locale du vent peut par contre jouer sur l'agitation (effet de fetch) comme il a pu être constaté lors de coups de vent de NE à Saint-Benoît-des-Ondes.

L'implantation d'une station météorologique sur la côte n'apportera pas de précision supplémentaire significative, compte tenu de la densité du réseau existant et de la qualité des modèles aujourd'hui disponibles en météorologie. Les données acquises lors de l'expérimentation conduite par l'EPHE serviront à un recoupement.

La lettre de commande de la ministre évoque la possibilité, s'il n'y avait pas de conditions atmosphériques agitées lors des grandes marées de cet hiver, de rejouer un événement passé pour évaluer les vagues et les surcotes.

Météo-France a procédé à une modélisation des vagues en baie, en utilisant un modèle à haute résolution (maille de 200m) WW3 forcé avec les résultats d'HYCOM (niveaux d'eau), coproduit avec le SHOM.¹¹ L'événement fictif a été constitué de la tempête du 13 février 2005, avec un vent de nord-ouest, de force 9 Beaufort, sur une durée longue et pression atmosphérique 1015 mb, sur la marée du 11 février, de coefficient 108.

Cet événement théorique a une fréquence de retour comprise entre 10 et 20 ans.

La hauteur des vagues (H1/3) atteint 2 m à 2,5 m face à Cherrueix, à 2 km de la digue, avec une période de 6 à 7 s. La surcote atteint 62 cm en baie, 48 cm à Granville d'après le modèle HYCOM.

Cette modélisation montre que les hauteurs de vagues, bien qu'atténuées, sont encore élevées et explique des événements de grande ampleur comme la rupture du grand cordon de Vildé-Hirel lors de la tempête Johanna de 2008 (estimation de H1/3 de 1,1 m et période pic de 15 s face à Hirel, point IOWAGA SA1:

¹¹ Rapport d'une étude de modélisation des états de mer et du niveau marin lors d'une tempête fictive dans la baie du Mont Saint Michel, A Dalphiné, D Paradis, L Aouf Météo-France ; A Pasquet, H Michaud, R Bataille, D Jourdan SHOM ; avril 2015

<http://wwwz.ifremer.fr/iowaga>). L'affirmation de la faible énergie de houle doit être nuancée sur des situations rares.

La détermination du set-up par Hydratec paraît sensiblement sous évaluée. Des incohérences de raisonnement (choix du coefficient γ peu pertinent, valeurs de longueur d'onde des vagues non cohérent avec leur fréquence...) ont été soulignées. La fourchette proposée va de 18 à 29 cm, et non 12 comme proposé.

Il est fait remarquer que l'atténuation de l'énergie par les bancs coquilliers se traduira simultanément par une augmentation du set up.

L'estimation du niveau résultant de la somme de la marée astronomique, de la surcote atmosphérique et du set-up est sans doute améliorable. La valeur proposée par Hydratec est plutôt trop faible d'une dizaine de cm (set up sous estimé, surcote sous déterminée, calcul de convolution surestimant le résultat). Mais ces données sont toutes assorties d'un intervalle de confiance.

La circulaire sur l'élaboration des PPR littoraux, en proposant de retenir la valeur centrale, et d'y ajouter une marge forfaitaire de 25 cm, assume cette situation.

Le comité note que les valeurs retenues par l'autorité administrative en ce qui concerne l'élévation du niveau de la mer et l'incertitude sur les calculs de surcote sont choisies à l'intérieur des gammes fondées scientifiquement.

D'une manière générale, l'énergie des vagues à la côte reste modérée, même avec une surcote importante.

Au final, le comité scientifique n'a aucun doute sur le fait qu'en l'état actuel de la topographie de la cote de la digue de la duchesse Anne, un événement centennal dépasserait celle-ci dans plusieurs secteurs

4- Suivi des grandes marées 2015 (séance du 4 février 2015)

Météo-France propose d'organiser des échanges avec la DDTM sur la prévision les jours précédents les grandes marées.

Les services de l'État comptent placer 2 capteurs en continu (Cancale et Roche Torin) et récupérer les enregistrements des capteurs de l'ASA (Le Vivier et Saint-Benoît) et du syndicat mixte RCM (La Caserne). Les trois jours de coefficient maximal, une série de 5 points d'observation visuels est prévue.

Le suivi sera plutôt vidéo que photo et avec marquage des niveaux extrêmes, puis nivellement.

Un survol hélicoptère a été réalisé avec prise de vues obliques le samedi 21 février, quasiment à l'étale de pleine mer.

Pour évaluer l'impact des tempêtes de l'hiver 2014 sur les bancs coquilliers, il serait utile que les photos satellites puissent être acquises, en complément du levé topographique réalisé par l'EPHE à l'occasion de l'expérimentation.

L'EPHE a été retenu par le conseil général comme prestataire d'une étude sur la contribution de la configuration sédimentaire du moyen et du haut estran sur l'atténuation de la houle, et à apprécier sa durabilité.

7 transects type ont été étudiés durant les grandes marées de février et mars, avec différentes configurations du schorre et des bancs coquilliers.

Le comité recommande :

- de disposer si possible d'une mesure de marée au Mont-Saint-Michel ;
- de retenir un profil sans herbu ni banc coquillier ;
- d'augmenter la fréquence de mesure à 4 Hz pour mieux traiter le signal de vague.

Les données acquises devraient permettre, outre leur objet principal, d'évaluer le set up, d'apprécier l'amortissement de la houle dans la zone des bouchots, des bancs coquilliers et au schorre, enfin d'apprécier la cote du maximum du plan d'eau le long du littoral en complément des mesures terrestres.

Premiers résultats (26 mars 2015)

Les données mentionnées ci-après sont indicatives et devront être confirmées suite aux analyses complètes, et lors de la publication.

En février, l'agitation a été modérée : faible gradient de pression, vent de SW basculant NW 4 à 5 Beaufort le 20, les conditions de vent devenant prépondérantes le lundi soir avec 7 B le soir. La surcote observée est de 10 cm environ le 21 matin, et de 16 cm le dimanche à la pleine mer.

En mars, les conditions anticycloniques ont prédominé (1025 mb, 3 à 4 B de vent de NE), avec une sous cote de 10 à 15 cm observée.

Les 30 capteurs posés en février, puis mars ont été retrouvés. Les capteurs installés au large en février ont été replacés dans le bas estran en mars.

L'agitation mesurée au large est très proche des résultats des modèles (Hs 0,5 m PREVIMER (<http://www.previmer.org>)).

Plus la hauteur de l'eau est importante, plus la hauteur des vagues arrivant à la côte grandit.

Les bancs coquilliers et le schorre ont un effet d'atténuation important, entre 86 et 99 % selon les situations topographiques et de niveau d'eau atteint. En leur absence, l'atténuation liée à la faible pente de l'estran est plus modeste, 64 à 90 % selon les conditions de hauteur d'eau. Un recouvrement d'eau important réduit leur effet atténuateur.

Le comité recommande au Conseil général :

- de lancer la tranche conditionnelle de l'étude confiée à l'EPHE, en poursuivant la collaboration avec Météo-France pour mettre les matériels en place en conditions de surcote prévisible, dès les coefficients supérieurs à 105.
- de mettre en place un transect au droit du bourg de Cherrueix ou Hirel (sur les secteurs où il est constaté une interruption des bancs coquilliers).

5- Sédimentologie de la baie

Deux régimes hydro-sédimentaires coexistent dans la baie :

* Au nord-est, entre la chapelle Sainte-Anne et les falaises de Champeaux, les courants de marée sont alternatifs (flot portant vers le sud-est et jusant au nord-ouest), dans l'axe de la baie et se renforcent dans les chenaux de la zone estuarienne que

forment les 3 fleuves côtiers (Sée, Sélune et Couesnon). Les sédiments de l'estran sont des sables fins à moyens, voire grossiers dans les chenaux, et les vases plus fines occupent le haut estran couvert par les herbues. La prolifération récente du chiendent sur les herbues autour du Mont se traduit par une rétention sédimentaire plus importante sur l'herbu, avec des effets sur l'écosystème du marais salé et sur la sédimentation encore mal connus. Les taux d'accrétion sédimentaire sont très variables selon le contexte morpho-sédimentaire de la haute slikke : de quelques mm/an dans les parties les plus hautes de l'herbu à plusieurs cm/an sur la haute slikke et/ou les berges des chenaux estuariens divagants.

* A l'ouest, entre Cancale et la chapelle Sainte-Anne, les courants de marée plus faibles sont giratoires et ralentis par la présence de la pointe du Grouin de Cancale qui amortit également les houles de Nord-Ouest qui pénètrent dans la baie. De ce fait, la sédimentation dans ce secteur occidental est plus fine que dans la zone estuarienne avec un dépôt de vases très fines (mud-flat) entre Cancale et Saint-Benoît des Ondes qui passe à une sédimentation sablo-vaseuse dans la partie centrale (de Vildé-Hirel au Vivier sur mer) et à des dépôts de sables fins à moyens à partir de Cherrueix et jusqu'à La Chapelle Sainte-Anne. La sédimentation est plus faible, avec des remaniements sédimentaires superficiels de l'ordre de quelques mm/an qui varient dans le temps et dans l'espace selon l'orientation des vents.

Globalement, à l'échelle des 7000 dernières années, l'évolution des fonds suit celle du niveau de la mer. Le graphique dessiné par A L'Homer ne peut toutefois être utilisé sans précaution, et mentionne des fluctuations en pointillé, qui illustrent les périodes moins connues. Le cordon littoral se forme dès le IV^e siècle, il se renforce entre le VII^e et le X^e siècle. À partir du XI^e siècle, il est probablement renforcé par l'action de l'homme pour l'édification de la digue de la Duchesse Anne qui isole le marais de Dol des incursions marines.

Des bancs de sable coquillier se forment sur le moyen estran et progressent vers le haut estran sous l'action des houles. Ils s'enrichissent alors progressivement en coquilles entières et s'épaississent jusqu'à former une barrière littorale discontinue de quelques mètres d'épaisseur en bordure du schorre. Leur composition en débris coquilliers varie d'ouest en est et ceux de Saint-Benoît-des-Ondes sont moins alimentés que ceux de Cherrueix ou de La chapelle Sainte-Anne. L'altitude des crêtes de bancs diminue d'ouest en est. Les bancs de Vildé sont rarement submergés lors des pleines mers de grande vive eau (coefficient 115 théorique sans agitation ni surcote). Cependant, des coups de vent successifs, comme en 2014, peuvent provoquer des remaniements des cordons avec formation de brèches et étalement des sables coquilliers sur l'herbu à l'intérieur duquel ils sont progressivement intégrés et colonisés par la végétation.

L'analyse des photos aériennes depuis 1950 montre la progression des bancs depuis le moyen estran et les étapes de la constitution de la barrière littorale discontinue actuelle. Les prélèvements de sable coquillier pour l'amendement des terres agricoles trop acides et les aménagements du haut estran pour les activités de loisir (char à voile) sont de nature à diminuer les stocks sédimentaires disponibles et à fragiliser le rôle de protection des bancs coquilliers. Cette barrière littorale que forment les grands bancs coquilliers du haut estran occidental de la baie peut perdre de la hauteur et du volume entraînant une réduction de sa capacité d'amortisseur des plus fortes houles.

Les apports de matériaux en baie ont deux origines :

- 50 % d'origine biologique. Le développement des cultures marines, la prolifération de la crépidule (stock de l'ordre de 220 000 t sur les fonds de l'avant baie) renforcent plutôt les apports ;
- 50 % d'origine silicoclastique. Or le réservoir sédimentaire est aujourd'hui quasi-épuisé.

L'acidification des océans, qui pourrait réduire l'apport biologique semble pour l'instant négligeable compte tenu de l'agitation de la Manche.

Il est toutefois indécidable de répondre à la question de ce qu'il va advenir d'ici 2100, avec une remontée rapide de la mer de 3 mm/an, puis plus vite après 2070.

Une thèse vient d'être lancée pour mieux connaître l'évolution de la sédimentation de la partie ouest de la baie depuis 200 ans, et pronostiquer celle-ci jusqu'en 2100. Les résultats pourront être utilisables pour une révision du PPR SM après réhaussement et confortement de la digue.

En conclusion, les sédimentologues ne s'estiment pas en mesure de pronostiquer un maintien de la hauteur d'eau libre en fort coefficient, ou une augmentation de celle-ci par moindre vitesse de la sédimentation par rapport à l'élévation du niveau marin. Ils insistent sur la nécessité de ne pas exporter de matériau hors de l'estran, et d'essayer de garder un bourrelet sédimentaire devant la digue le plus important possible. En effet, la sollicitation mécanique de la digue est d'autant plus importante que la bathymétrie de pied est importante.

6- Géotechnique de la digue

Les informations disponibles sur la nature des matériaux et les caractéristiques mécaniques, géotechniques et hydrauliques du pied et du corps de digue sont insuffisantes pour apprécier la stabilité d'ensemble de l'ouvrage.

La transmissivité est élevée dans le pied de digue, comme le montre l'ennoiement des sous-sols en bordure de digue côté terre sur certains secteurs (maison du terroir à Cherrueix lors des grandes marées, notamment).

Sur les rares mesures disponibles, la résistance de pointe mesurée au pénétromètre statique est très faible.

Cette connaissance géotechnique (nature des matériaux, répartition spatiale, caractéristiques mécaniques et paramètres d'état) est un préalable indispensable à la définition des travaux de renforcement de la digue.

En ce qui concerne l'érosion par surverse, le critère de rupture au-delà d'une lame d'eau de 20 cm est valide. Les néerlandais conduisent des expérimentations sur les conditions de rupture par surverse qui montrent l'importance de la nature et du revers de digue. Un film réalisé par une unité de recherche du département de l'agriculture des États-Unis (USDA) est tout à fait intéressant, et il serait judicieux de demander le droit de l'utiliser à des fins pédagogiques.

L'énergie des vagues à la côte est faible, et ne constitue pas, dans les conditions de bathymétrie actuelle un risque d'érosion, puis de destruction dès lors que le perré ne présente pas de désordres (pierres manquantes, cavités en arrière, affaissements...). Le perré doit donc être régulièrement surveillé et entretenu.

D'autres phénomènes de rupture sont possibles, qu'il s'agisse d'érosion interne ou de stabilité générale. Une première approche simplifiée des phénomènes d'érosion interne a été réalisée à partir de l'application des règles de Blight et Lane, pour deux types de matériaux constitutifs du corps de digue (sables fins et très fins). Diverses coupes considérées comme potentiellement critiques ont été testées, avec des cheminements hydrauliques variés. Il en est tiré un premier critère de sûreté, soit une largeur de digue supérieure à 30 m à la cote 8m NGF. La réalisation d'essais spécifiques in situ ou en laboratoire pourra permettre de resserrer ce critère (HET Hole Erosion test ; Crumble test ; MoJet...). Dans tous les cas, la connaissance des conditions géotechniques du corps de digue, de ses variations et des zones de transition ou d'interface (ouvrages traversants, inclusions dans le corps de digue, changement de nature des matériaux, ...), propices à l'érosion interne et aux instabilités de toutes natures, est indispensable à l'analyse de la sûreté de l'ouvrage et à la définition de critères plus précis, fiables et adaptés au contexte.

Une compilation des données de brèches sur le littoral est en cours de publication par le CEREMA, qui précise la médiane et la moyenne des brèches observées sur les digues en France.

7- Modélisation des écoulements à travers les brèches et dans le marais

Le modèle utilisé pour propager l'eau à travers, puis au-delà de la brèche, est adapté à l'objectif.

Les coefficients de Manning Strickler utilisés sont pertinents. L'occupation du sol a été déterminée à partir de l'orthophotoplan. La hauteur d'eau minimale gérée par le modèle est de 5 cm. Les casiers peuvent alternativement être ennoyés ou mis au sec. Les exports pour figurer les espaces inondés au pas de temps une heure ont été réalisés, mais n'ont pas été mis en forme. Les volumes écoulés par les brèches peuvent être calculés.

L'hypothèse selon laquelle le plancher de la brèche est égal à la cote de haut de plage est bienveillant, si le terrain naturel côté marais est sensiblement plus bas.

Le comité n'a pas relevé d'anomalies majeures, et certaines questions posées ci après ont reçu une réponse qui montre leur non pertinence.

Références bibliographiques consultables sur le site : www.paralia.fr/jngcgc 2002, 2006 et 2012.

C. BONNOT-COURTOIS, J.E. LEVASSEUR Mesures in situ de la sédimentation au front des schorres aux abords du Mont-Saint-Michel (pp. 137-144) – DOI:10.5150/jngcgc.2002.014-B.

BONNOT-COURTOIS C., BASSOULLET P., LE HIR P., TESSIER B., CAYOCCA F., BALTZER A. Évolution et mobilité des sédiments superficiels de l'estran occidental de la baie du Mont-Saint-Michel (pp. 137-144) – DOI:10.5150/jngcgc.2006.014-B.

Chantal BONNOT-COURTOIS en hommage à A. L'HOMER. Dynamique sédimentaire intertidale en baie du Mont-Saint-Michel entre évolution naturelle et aménagements anthropiques (pp. 187-222) – DOI:10.5150/jngcgc.2012.021-B.

Séance du 4 février 2014

LEFEUVRE	Jean-Claude	Pdt conseil scientifique CELRL	présent
PEDREROS	Rodrigo	BRGM	présent
OLIVEROS	Carlos	BRGM	présent
BARAER	Franck	MétéoFrance bureau d'études et climatologie Dir Ouest	présent
DENIAUD	Yann	CEREMA	présent
CAYOCCA	Florence	IFREMER labo PHYSED	excusée
BONNOT-COURTOIS	Chantal	Directeur de recherche CNRS – UMR 8586 Prodig	présente
VERGER	Fernand	Professeur émérite ENS	présent
TESSIER	Bernadette	Université de Caen Basse-Normandie – UMR 6143	présente
ROBIN	Marc	Directeur de l'UMR 6554	excusé
ETIENNE	Samuel	Directeur du laboratoire de géomorphologie et Environnement et Environnement Littoral	présent
CRAVE	Alain	Université Rennes 1 - UMR 6118	présent
PRONOST	Ronan	SHOM	présent
FORRAY	Nicolas	CGEDD	présent
MARBOUTY	Dominique	CGEDD	présent
ALLAIN - ANDRE	Christine	CG 35	présente
ROBIN	Thierry	CG 35	présent
COLLIN	Antoine	MCF EPHE	Assistait également
PEINTURIER	Cédric	DDTM 35	Assistait également

Séance du 25 mars 2015

LEFEUVRE	Jean-Claude	Pdt conseil scientifique CELRL	présent
PEDREROS	Rodrigo	BRGM	présent
OLIVEROS	Carlos	BRGM	présent
BARAER	Franck	MétéoFrance bureau d'études et climatologie Dir Ouest	présent
LE CAM	Hervé	Météofrance	présent
DENIAUD	Yann	CEREMA	présent
CAYOCCA	Florence	IFREMER labo PHYSED	excusée
BONNOT-COURTOIS	Chantal	Directeur de recherche CNRS – UMR 8586 Prodig	présente
VERGER	Fernand	Professeur émérite ENS	présent
TESSIER	Bernadette	Université de Caen Basse-Normandie – UMR 6143	présente
ETIENNE	Samuel	Directeur du laboratoire de géomorphologie et Environnement et Environnement Littoral	présent
CRAVE	Alain	Université Rennes 1 - UMR 6118	présent
PRONOST	Ronan	SHOM	présent
FORRAY	Nicolas	CGEDD	présent
MARBOUTY	Dominique	CGEDD	présent
ALLAIN - ANDRE	Christine	CG 35	présente
ROBIN	Thierry	CG 35	présent
JEANSON	Matthieu	MCF EPHE	Assistait également
PEINTURIER	Cédric	DDTM 35	Assistait également

Expertise du dossier de PPR submersion marine du Marais de Dol (35)
Questions au comité scientifique du 4 février 2015

L'événement de référence centennal est construit à partir d'un calcul de convolution de la combinaison d'événements astronomiques (la marée), atmosphériques (pression, vents : force, orientation), topographiques (forme de la côte, bathymétrie) qui modifie la houle.

Or la baie du Mont est incontestablement un cas singulier sous tous ces aspects.

Rapport PPR , phase 1, et annexe phase 2

Une vérification de la meilleure actualité des données et des méthodes utilisées, de leur mise en œuvre selon des méthodes connues, et de l'incertitude sur les résultats dans le cas particulier de la baie du Mont est attendue (SHOM, Météo-France, CEREMA, BRGM, IFREMER).

Plus particulièrement, quelques questions sont posées :

- compte tenu de la forme de la baie, la cote maximale astronomique est-elle identique sur tout son pourtour. Le cas échéant, quel appareillage simple pourrait permettre de préciser l'ampleur de cette hétérogénéité ?
- avec le relèvement du niveau de la mer, doit-on considérer que l'amplitude des marées augmente, reste équivalente ou se réduit, à horizon 2050, 2100 ? (SHOM, CEREMA).

Peut-on obtenir des précisions sur les mouvements verticaux terrestres (surrection/subsidence) évoqués dans le dossier de PPRSM (caractérisation de l'aléa, page 9), le territoire de la baie aurait tendance à s'enfoncer contrairement au territoire du Finistère. De combien ? Connaît-on les facteurs agissants sur cette dynamique ? A-t-on des précisions sur la situation actuelle et des prévisions d'ici 2100 ?

- si l'élévation du fond de la baie par sédimentation est plus lente que l'élévation du niveau marin, quel serait l'effet sur la hauteur de houle, puis du set up, à envisager en 2100 ? Le cas échéant, s'il y a augmentation de l'énergie des vagues à la côte, faut-il, au moins dans certains secteurs, envisager à terme un run up ? (ces questions dépendent en partie de l'expertise demandée sur l'évolution de la sédimentation dans la partie ouest de la baie) ;

– la forme de la baie peut-elle amplifier les surcotes liées au vent, à la pression atmosphérique (SHOM, Météo-France, IFREMER) ;

– pour les simulations de houle, quelles sont les données ou méthodes de calcul rapides à mettre en œuvre (quelques mois) qui pourraient améliorer significativement la précision des résultats. (SHOM, Météo-France, IFREMER)

– des bancs coquilliers se forment en avant de la digue de la duchesse Anne, et tendent à rejoindre le haut d'estran par progradation. Ces bancs jouent-ils un rôle particulier d'atténuation des houles ? Pour le compte du Département, le laboratoire de géomorphologie et environnement littoral de Dinard va installer des capteurs ? Est-ce suffisant ? Quel dispositif de mesure supplémentaire serait à mettre en place, le cas échéant sur le moyen voire le plus long terme ?

– la réalisation d'un lever lidar des vagues lors des grandes marées serait-il de nature à remettre en cause les valeurs d'atténuation des houles, ou à les préciser utilement, ou serait de peu d'utilité ?

La sédimentation est particulièrement active en baie (universités, IFREMER)

– sur les années passées, l'élévation des fonds est-elle homogène dans la partie ouest, de château Richeux à la chapelle St Anne ? Sinon, existe-t-il des données qui précisent par secteur les phénomènes observés ?

– avec l'élévation du niveau marin, le volume de sédiment déposé va-t-il croître, être constant, se réduire ?

– avec l'élévation du niveau de la mer, a-t-on un pronostic sur l'ampleur de l'élévation de l'estran d'ici à 2100, et les éventuelles hétérogénéités spatiales de celle-ci (plus rapide, moins rapide, équivalent, spatialement réparti, préférentielle sur certaines zones ?)

La définition des scénarios du PPR repose sur un certain nombre d'événements, dont les simulations orientent la définition du risque (CEREMA, BRGM).

Certains paramètres ont été définis nationalement, par exemple l'élévation du niveau marin de 60 cm en 2100 par rapport à aujourd'hui, ou le fait qu'une digue peut toujours rompre.

Dans la version actuelle, le PPR envisage le dysfonctionnement des ouvrages des exutoires à la mer, la surverse (la digue est par endroit à peine plus haute que la cote maximale astronomique), la formation de brèches (désordre interne, car la géotechnique des digues est mal connue, érosion interne, animaux fouisseurs, passage de réseaux...).

– le principe de rupture dès que la surverse dépasse 20 cm est-il pertinent ?

– les critères (cf PPR rapport phase 2 p 12) qui définissent le risque de brèche sont-ils pertinents : la hauteur de la crête de la digue, sa largeur en pied, l'état de perré de protection, la hauteur entre le haut de plage et la cote de référence ?

– la largeur des brèches envisagées selon les caractéristiques de la digue est-elle conforme à l'expérience ? Faut-il prendre en compte la nature des matériaux constitutifs de la digue (cf étude CETE, sur trois secteurs) ?

Concernant la modélisation des brèches : le marégramme utilisé est-il pertinent (cf PPR rapport phase 2 p14) ? La détermination des débits entrants est-elle correctement modélisée ? Le modèle utilisé répond-il à l'état de l'art ?

Divers renseignements ont été demandés à Hydratec, pour enrichir le questionnement

-existe-t-il des références bibliographiques à l'échelle internationale des ruptures de digues à la mer, analysant causes et ampleur ?

Avis sur :

1- le dispositif de suivi envisagé par la DDTM pour la baie (et **protocole d'échantillonnage**) ;
utilité d'un suivi à 5 ans ?

Utilisation de ces données ?

2- étude des services éco-systémiques de protection des dépôts sédimentaires en baie du Mont-Saint-Michel conduite par le Laboratoire de géomorphologie et environnement littoral de Dinard ;

3- en cas d'absence de paramètres climatiques contrastés en début 2015, intérêt d'une modélisation d'une tempête conjuguée avec les grandes marées de 2015 (SHOM et MF) ;

4- définir la station météo la plus proche, voire installer une station temporaire pour l'année 2015, marquée par de très nombreuses grandes marées (MF) ;

5- quelles sont les recherches bibliographiques et l'état de la connaissance à engager et à prioriser pour enrichir et améliorer l'expertise (mission contenue dans le CCTP du CG35)..

Nota : les points en gras sont mentionnés dans le courrier de la ministre comme prestation attendues des établissements publics.

Comité scientifique pour le PPR submersion marine du marais de Dol
Réunion du 25 mars 2015

- **Bilan des grandes marées de février :**
 - le contexte météo (Météo-France)
 - marée, surcotes (SHOM)
 - les observations directes (DDTM 35)
 - Résultats de l'étude sur les dépôts sédimentaires (EPHE)
- **Suivi des grandes marées de mars**
 - le contexte météo (Météo-France)
 - marée, surcotes (SHOM)
 - Les observations directes (DDTM 35)
 - Protocole de suivi des dépôts sédimentaires mis en place en mars (adaptation méthodologique par rapport aux marées de février -EPHE).

3- Modélisation des vagues et houles en baie du Mont Saint Michel : état d'avancement

4- Examen des réponses fournies par Hydratec

5- Questionnements

- Intérêt de poursuivre les investigations lors des grandes marées d'automne ?
- Sédimentologie :
 - la stabilisation des bancs coquilliers au XI^e siècles, sur lesquels se sont implantés les bourgs de Cherrueix, du Vivier, Hirel, est-elle à mettre en relation avec une période de niveau marin plus haut qu'aujourd'hui, suivi d'une période de baisse modérée du niveau (utilisation du graphique de L'Homer et al) ?
 - Quelle est l'origine des interruptions des bancs coquilliers devant Hirel et Cherrueix ?
 - Quel est l'impact sur la sédimentation des endiguements réalisés pour protéger les installations conchylicoles en avant de la digue ?
 - Est-il nécessaire de suivre sur la durée la dynamique hydro-sédimentaire en baie ? avec quels outils et moyens ? (suivi de terrain, cartographique, modélisation, autres investigations ?)
- Dignes :
 - Quelles sont les causes de rupture ?
 - Quelle est la limite entre terre et digues ?
 - Comment prendre en compte la durée limitée de mise en eau sur le risque de rupture ?
 - Quel est l'état de nos connaissances sur la géophysique et la géotechnique de la digue ? Est-il nécessaire de prévoir des investigations supplémentaires dans ces domaines (en complément de l'étude de dangers) ?

4. Liste des personnes rencontrées

<i>Nom</i>	<i>Prénom</i>	<i>Organisme</i>	<i>Fonction</i>	<i>Date de rencontre</i>
STRODZA		Préfecture	Préfet de région	6 février 2015
LOBIT	François	Sous préfecture Saint Malo	Sous préfet	6 février 2015
TOURENNE	Jean-Louis	Conseil général 35	Président	6 février 2015
JANNIN	Maurice	Conseil général 35	C Gal, Délégué au littoral	6 février 2015
LURTON	Gilles		Député	16 mars 2015
ROBIN	Thierry	Conseil général 35	Services techniques	À de nombreuses reprises
ALLAIN-ANDRE	Christine	Conseil général 35	Services techniques	À de nombreuses reprises
BOURDAIS	Auguste	AS des propriétaires des digues et marais de Dol	Président	À de nombreuses reprises
BAUDRY	Gérard	St Benoît des Ondes	Maire (et un adjoint)	2 février 2015
BARBE	Arnaud	Le Vivier sur mer	maire	2 février 2015
BOURGEAUX	Jean-Luc	Cherrueix	maire	17 février 2015
BERNARD	René	St Meloir des Ondes	maire	17 février 2015
RAPINEL	Denis	Dol de Bretagne	maire	18 février 2015
HARDOUIN	Michel	Hirel	Maire (et ses adjoints)	17 février 2015
22 communes concernées par le PPR SM			Maires et adjoints	16 mars 2015
FLEAUX	Michel	ADEPT	Président	17 février 2015
MARET	Pascal	ADEPT		17 février 2015
LEBRET	A	ADEPT		17 février 2015
AUGAIN		ADEPT		17 février 2015
LEBAS	Pierre	Association des amis de la baie	Président	18 février 2015
BAUDIN	D	Association des amis de la baie		18 février 2015
LE GAC		Association des amis de la baie		18 février 2015
DOMAIN	Pierrick	DDTM 35	Directeur	4 février et 26 mars 2015

<i>Nom</i>	<i>Prénom</i>	<i>Organisme</i>	<i>Fonction</i>	<i>Date de rencontre</i>
PEINTURIER	Cédric	DDTM 35		À de nombreuses reprises
RAUDE	Yannick	DDTM 35		6 février 2015
LAREUR	Catherine	DDTM 35		À de nombreuses reprises

5. Réponses par thèmes

La plupart des questions posées par l'ADEPT reçoit une réponse dans le corps du rapport. Il a toutefois semblé utile de récapituler celles-ci, et les éléments recueillis auprès des scientifiques ou par des documents compilés par la mission.

– La détermination du TRI est élaborée selon les critères définis par l'arrêté ministériel du 27 avril 2012, définissant les critères nationaux de caractérisation de l'importance des risques d'inondation qui fixe une série de critères, que chaque bassin peut compléter.¹²

La désignation, prise par un arrêté du préfet coordonnateur de bassin (ici Loire Bretagne à Orléans), oblige chacun de ces TRI à élaborer une stratégie locale de gestion du risque inondation.

Le critère de population potentiellement inondable pour un événement exceptionnel classe le nord Ile-et-Vilaine dans les 25 territoires les plus affectés du bassin Loire Bretagne, avec comme facteur aggravant un phénomène rapide par rupture de digue.

– Réutilisation des études du rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel et des travaux scientifiques sur la zone atelier de la Baie.

Voir la synthèse des débats du comité scientifique (annexe 3), et les parties 2 et 3 du rapport.

– Intérêt d'un modèle physique pour évaluer la sédimentation future de l'ouest de la baie

Les limites d'un modèle physique sont la difficulté de mimer de façon fiable dans le temps des évolutions sédimentaires, surtout lorsque les phénomènes étudiés sont cumulatifs. D'où la décision pour le RCM de ne guère dépasser 40 ans. La réalisation d'un modèle complet de la baie, outre son coût, ne permet pas de répondre à la question de l'impact d'une surcote importante et instantanée sur la digue. Celle-ci est indépendante du niveau moyen de la mer à la date de la tempête.

Une modélisation mathématique de la sédimentation a été réalisée et publiée en 2006, mais montre aussi des difficultés à dépasser le moyen terme. Elle souligne l'importance des dépôts autour du Mont-Saint-Michel¹³

Les sédiments déplacés des environs immédiats du Mont-Saint-Michel ne retournent pas dans la grande baie, mais se re-déposent latéralement, à proximité.

– Le calcul des surcotes

Voir la partie 2 du rapport.

– La modélisation utilisée

Voir partie 4-1.

Il convient de distinguer deux types de modèles.

¹² Voir site internet DREAL Centre, bassin Loire-Bretagne : <http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/risque-inondation-r327.html>

¹³ .IX journées nationales génie civil 2006:: Modélisation hydro-sédimentaire de la Baie du Mont Saint Michel. F Coyocca et al

Les logiciels SWAN ou ADCIRC servant à calculer la formation et la propagation de la houle et des vagues (liées au vent local) sur la partie maritime pour déterminer leurs caractéristiques à la côte, après calage sur les valeurs observées sur des bouées de mesure. La version SWAN III a été utilisée pour évaluer la houle lors des marées de février, ce qui permet de comparer les valeurs mesurées par le suivi de l'EPHE, et les valeurs calculées. Une tempête fictive a également été simulée pour définir la surcote et la hauteur spécifique des vagues.

Le logiciel HYDRARIV est l'un des modèles couramment utilisés pour modéliser les écoulements en rivière et dans les espaces inondables. Il est fondé, comme ses concurrents (MIKE, TELEMAC...), sur la résolution des équations de Barré de Saint-Venant. Si les capacités de calcul ont progressé, grâce aux progrès de l'informatique, il n'en reste pas moins que le territoire est simplifié dans sa représentation par des mailles de calculs, de petite taille dans les secteurs critiques comme à proximité de la digue, et plus grandes au-delà.

Ces deux types de modèles, dont les objets diffèrent, ne s'intègrent pas l'un à l'autre. Le modèle Hydrariv est ici utilisé à bon escient.

– Les données du LIDAR ont été dégradées

Voir partie 4-1.

Pour connaître la topographie de la baie et du marais, nous disposons d'un levé réalisé par laser aéroporté, qui fournit une valeur d'altitude par m² (soit 120 000 000 valeurs pour le marais), plus quelques millions pour la partie maritime, avec une précision verticale de 10 à 15 cm environ.

Il est donc nécessaire, pour procéder à la définition de la topographie de chacune des mailles de calcul des modèles, de simplifier celle-ci. Sur les espaces agricoles, les irrégularités de la surface du sol, sont lissées. Ces opérations constituent la dégradation des données topographiques.

– Exploitation de la modélisation

Pour tenir compte de nos demandes, de nouvelles modélisations vont être réalisées. Suite aux demandes de l'association, les débits maximum passant dans les principales brèches ou sections ruinées après surverse, les volumes écoulés à chaque cycle de marée ont été demandés. Une présentation de l'extension des zones inondées pour une brèche (parfois en alternant inondation, retour en sec puis ré-inondation) à pas de temps constant pour mieux comprendre les phénomènes en jeu est aussi demandée.

– La digue de la duchesse Anne est un monument historique

La digue n'est pas un monument historique. Trois moulins à vent, situés commune de Cherrueix, ont été inscrits à l'inventaire supplémentaire en 1977.

Au titre des sites et paysages (loi du 2 mai 1930), un site a été créé, par décret sur la partie terrestre (secteur de la saline et sur plus d'1 km à l'ouest), par arrêté sur la partie maritime (de quartier du Han à la chapelle Sainte-Anne pour ce qui concerne la digue), le 25 mai 1987.



Figure 9 : limite du site classé, DREAL Bretagne, source géoBretagne

– **Le catalogue des événements historiques ayant touché la digue de la duchesse Anne** n'est fourni qu'en résumé dans le premier dossier de consultation du projet de PPR.

La mission a demandé que l'ensemble des fiches soit mis en ligne sur internet.

Voir rapport partie 2 et 5.2.

– **Le paramètre houle**

Voir la synthèse des échanges du comité scientifique

Voir partie 2-3-2.

L'énergie des vagues à l'arrivée sur la digue est assez modeste. C'est une spécificité de la baie, pleinement visible pour des hauteurs d'eau faibles au-dessus des bancs coquilliers, et le long de la digue. L'observation dans les secteurs moins protégés, comme au Vivier, lieu dit la Grève, tempère cet optimisme, avec une amplitude de l'ordre de 20 cm, le 21 février 2015. Avec des niveaux d'eau 70 cm plus haut, l'amortissement se réduit.

– **L'élévation du niveau marin est compensée par la sédimentation**

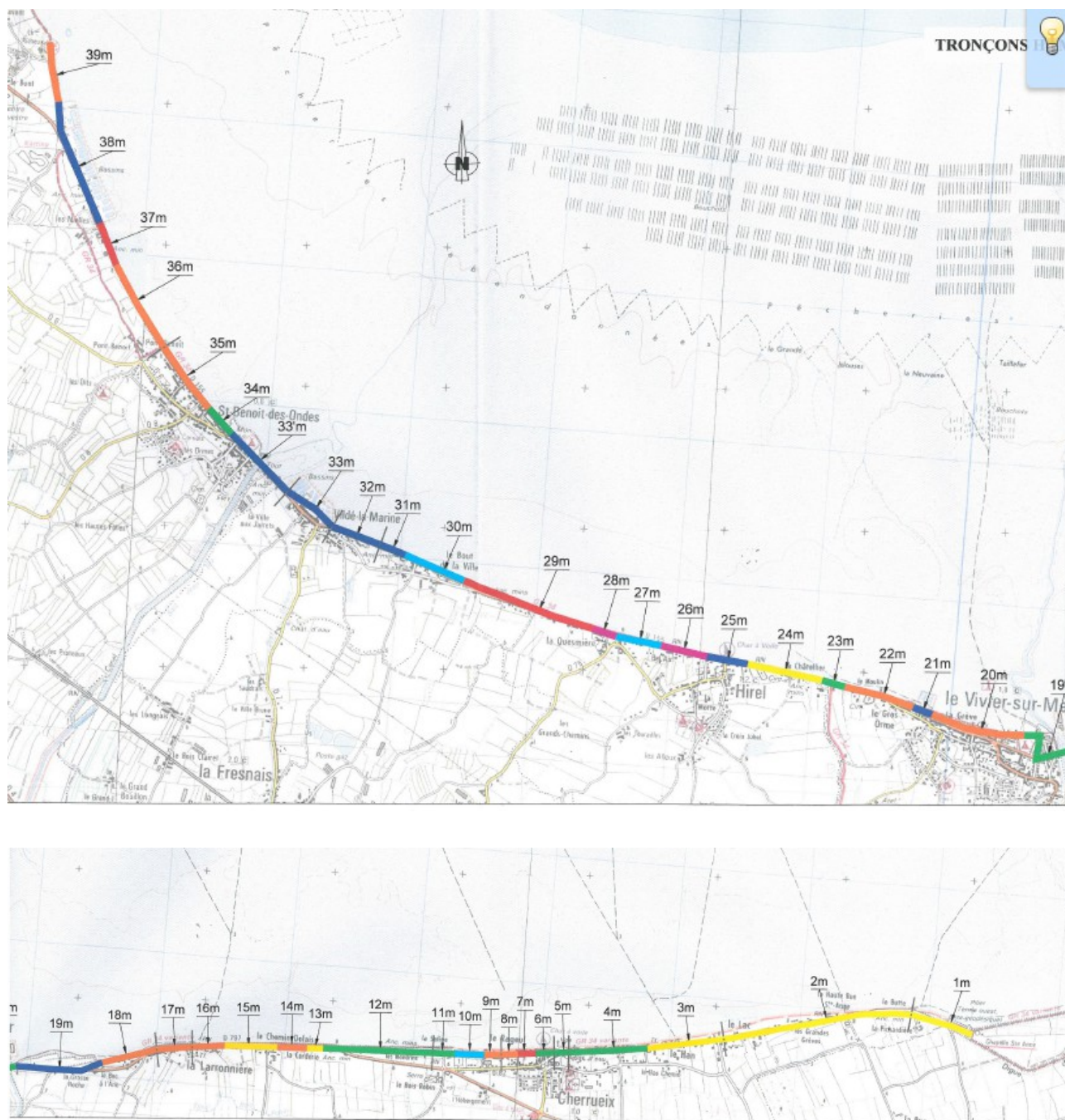
L'événement de référence se traduit par une surcote de bonne ampleur, qui se traduit par un niveau de l'eau sensiblement plus haut que celui des grandes marées. La sédimentation étant quasi exclusivement dépendante des apports marins, il n'est pas exclu que le niveau du haut de plage suive l'élévation du niveau marin. Mais la surcote s'y rajoute.

En cas de tempête, le paramètre clé reste la hauteur de la digue. D'autres facteurs, comme l'état du perré et de la digue en général peuvent être à l'origine de fragilités graves.

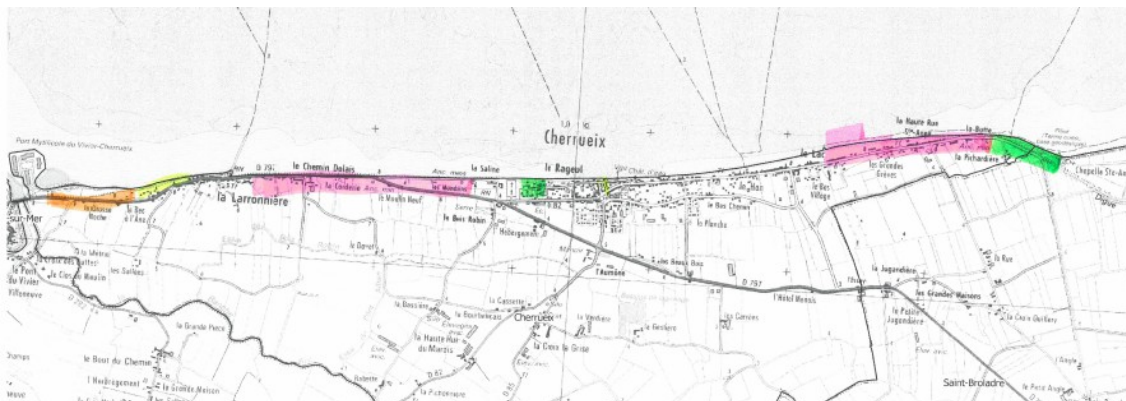
– **Une évacuation préventive est préférable à l'instauration de servitudes par le PPR**

L'expérience montre que l'évacuation est complexe à organiser, et que sa réalisation complète est difficile. Cette solution limite les risques aux vies humaines, mais pas les dégâts aux biens. Le PPR, en interdisant la construction dans les zones à risques, limite les évacuations nécessaires, et le coût des dommages.

6. Cartes des tronçons de l'étude préliminaire aux travaux de renforcement de la digue



7. Carte des scénarios retenus



8. Stabilité interne des digues

Sensibilité à l'érosion interne



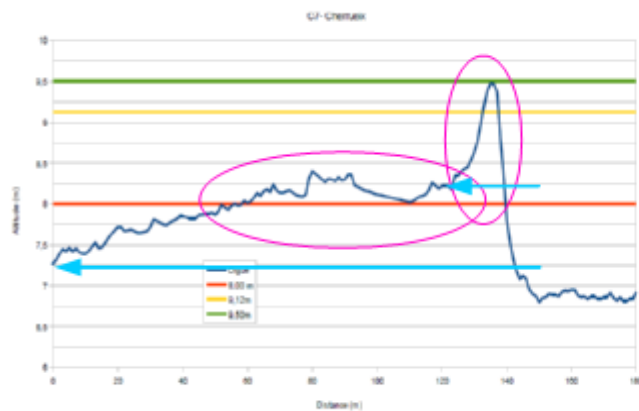
- Caractéristiques géométriques :
 - Digue large en base
 - > 40 m au dessus de 8,25 m NGF
 - Berme
 - 30 m à 7,6 m NGF
 - Point bas
 - 7,0 m GF
- Analyses :
 - Partie étroite de la digue :
 - Pas de susceptibilité au risque d'érosion interne
 - Avec terre-plein :
 - pas de susceptibilité au risque d'érosion interne

Site	Niveau d'eau en entrée	Cote à l'arrière	Lkh	Lky	dh	Lane						Lk	Bligh						Lk
						Fine sand			Very fine sand				Fine sand			Very fine sand			
						Ck	dh/Ck	Critère	Ck	dh/Ck	Critère		Ck	dh/Ck	Critère	Ck	dh/Ck	Critère	
C8	9.12	7.25	130	1.87	1.87	7	13.89	pas érosion	8.5	15.90	pas érosion	45.20	15	28.85	pas érosion	18	33.66	pas érosion	130.00
C8 court	9.12	7.75	70	1.37	1.37	7	9.58	pas érosion	8.5	11.65	pas érosion	24.70	15	20.55	pas érosion	18	24.66	pas érosion	70.00



- Caractéristiques géométriques :
 - Digue large en base
 - < 30 m au dessus de 8,0 m NGF
 - Berme
 - 20 m à 8,5 m NGF
 - Point bas
 - 6,0 m GF
- Analyses :
 - Partie sommitale de la digue (8,75 m NGF) :
 - Susceptibilité au risque d'érosion interne
 - Partie basale (6,75 m NGF) :
 - Susceptibilité au risque d'érosion interne
 - Point bas (6,0 m NGF)
 - Susceptibilité au risque d'érosion interne

Site	Niveau d'eau en entrée	Cote à l'arrière	Lkh	Lky	dh	Lane						High							
						Fine sand			Very fine sand			Lk	Fine sand			Very fine sand			Lk
						Ck	dh/Ck	Critère	Ck	dh/Ck	Critère		Ck	dh/Ck	Critère	Ck	dh/Ck	Critère	
C14	9.12	6	50	3.12	3.12	7	21.84	érosion	8.5	26.52	érosion	19.79	15	46.80	pas érosion	18	56.16	érosion	50.00
C14 court	9.12	6.75	20	2.37	2.37	7	16.89	érosion	8.5	20.15	érosion	9.04	15	35.55	érosion	10	42.66	érosion	20.00
C14 très court	9.12	8.75	5	0.37	0.37	7	2.59	érosion	8.5	3.15	érosion	2.04	15	5.55	érosion	18	6.66	érosion	5.00



- Caractéristiques géométriques :
 - Digue étroite en crête :
 - < 20 m au dessus de 8,25 m NGF
 - Terre-plein
 - 50 m au dessus de 8,0 m NGF
 - Point bas
 - 7,25 m NGF
- Analyses :
 - Partie étroite de la digue :
 - susceptibilité au risque d'érosion interne
 - Avec terre-plein :
 - pas de susceptibilité au risque d'érosion interne

Site	Niveau d'eau en entrée	Cote à l'arrière	Lkh	Lkr	dh	Lame				Lk	High				Lk
						Ck	dh/Ck	Critère	Ck	dh/Ck	Critère	Ck	dh/Ck	Critère	Ck
C7	9.12	7.25	140	1.87	1.87	7	13.89	pas érosion	8.5	15.90	pas érosion	48.54	15	28.85	pas érosion
C7 court	9.12	8.25	10	8.87	0.87	7	6.89	érosion	8.5	7.40	érosion	4.20	15	13.85	érosion

Légende

Les lignes représentent les altitudes suivantes

- vert : 10 m NGF
- jaune : 9,12 m NGF
- rouge : 8 m NGF

Les flèches bleues indiquent la longueur des cheminements hydrauliques envisagés.

Les tableaux sous chacune des 3 figures donnent les résultats des tests avec deux types de matériaux pour la digue.

9. Quelques photos du 21 février 2015



Cherrueix : La Pichardière. Les herbus



Cherrueix : le bas chemin



Cherrueix : château d'eau ; impact de l'absence banc coquillier



Cherrueix : les moulins, fin du banc coquillier



Le Vivier : base conchylicole ouest



Le Vivier : la Grève



Hirel, le Bout de la Ville banc coquillier



Vildé : la base conchylicole



Le canal des Allemands



St Benoît des Ondes



Les Nielles : la digue provisoire en eau



Chateau Richeux : entre 20 et 40cm sur la digue

10. Glossaire des sigles et acronymes

<i>Acronyme</i>	<i>Signification</i>
ABF	Architecte des bâtiments de France (au sein des services territoriaux de l'architecture et du patrimoine)
ANR	Agence nationale de la recherche
ASA	Association syndicale autorisée
B	Beaufort, échelle de mesure de vent
batardeau	Dispositif mobile permettant de barrer une échancrure ou une ouverture dans une digue
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
DDTM	Direction départementale des territoires et de la mer
DGPR	Direction générale de la prévention des risques, au ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EPHE	École pratique des hautes études
FPRNM	Fonds de prévention des risques naturels majeurs (ou fonds Barnier)
GEMAPI	Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations, compétence obligatoire des communes ou des collectivités à fiscalité propre, issue de la loi du 27 janvier 2014
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
herbu	Pré salé
IFREMER	Institut français pour l'exploitation de la mer
IGN	Institut géographique national et forestier
MNT	Modèle numérique de terrain : topographie du territoire déterminée par une valeur d'altitude par maille carrée de taille donnée (1 m , 5m, 20 m, etc)
NGF	Nivellement général de la France (référence 1969)
PAPI	Plan d'actions de prévention contre les inondations
perré	Recouvrement d'un talus ou d'un banc de sable par un ensemble de pierres, jointoyées ou non, constituant une surface régulière
PLU	Plan local d'urbanisme
PLUi	Plan local d'urbanisme intercommunal
POS	Plan d'occupation des sols (remplacé par les PLU)
PPR	Plan de prévention des risques

<i>Acronyme</i>	<i>Signification</i>
PPR SM	Plan de prévention des risques submersion marine
RCM	Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel
Run up	Hauteur d'eau atteinte par projection des vagues
SCoT	Schéma de cohérence territoriale
Set up	Relèvement du niveau de l'eau à proximité immédiate du rivage, lié à la perte d'énergie par frottement sur le fonds
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la marine
SNGRI	Stratégie nationale de gestion du risque inondation
SPL	Société publique locale
surcote	Élévation du niveau marin au-delà de la cote astronomique
TRI	Territoire à risque important (notion issue de la directive cadre inondation)
ZAC	Zone d'aménagement concerté

