



HAL
open science

**Comprendre les submersions marines et leurs
conséquences L'apport du retour d'expérience Xynthia
pour la définition des données à collecter suite à une
submersion**

Céline Perherin, Nathalie Berenger, Ludovic Bocquier, Nicolas Flouest,
Sylvain Moreira

► **To cite this version:**

Céline Perherin, Nathalie Berenger, Ludovic Bocquier, Nicolas Flouest, Sylvain Moreira. Comprendre les submersions marines et leurs conséquences L'apport du retour d'expérience Xynthia pour la définition des données à collecter suite à une submersion. Colloque international Connaissance et compréhension des risques côtiers , Université de Bretagne Occidentale, Jul 2014, Brest, France. hal-01482612

HAL Id: hal-01482612

<https://hal.science/hal-01482612>

Submitted on 3 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comprendre les submersions marines et leurs conséquences

L'apport du retour d'expérience Xynthia pour la définition des données à collecter suite à une submersion

Céline Perherin¹, Nathalie Berenger¹, Ludovic Bocquier², Nicolas Flouest¹, Sylvain Moreira¹

1. Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CEREMA/DTecEMF/DI/IE/IAR - Technopôle brest iroise - 155, rue Pierre Bouguer - BP 5 - 29280 PLOUZANE - Celine.Perherin@cerema.fr

CEREMA/DTerOuest/DLRCA/Environnement Risques Géotechnique - Département Laboratoire et CECP d'Angers - 23, Avenue de l'Amiral Chauvin - B.P. 69 - 49136 LES PONTS DE CE - Nathalie.Berenger@cerema.fr

CEREMA/DTerSO/DLB/GAIA/RGT - 24 rue Carton - CS 41635 - 33073 BORDEAUX Cedex - Nicolas.Flouest@cerema.fr

CEREMA/DTerOuest/DIMER/Environnement - Rue René Viviani - BP 46223 - 44262 NANTES - Sylvain.Moreira@cerema.fr

2. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Pays de Loire (DREAL Pays Loire/SRNT/DRNHSS)

5 rue Françoise Giroud - CS 16326 - 44263 NANTES cedex 2

Ludovic.Bocquier@developpement-durable.gouv.fr

RÉSUMÉ.

Suite à la tempête Xynthia, plusieurs modes de collectes ont été utilisés pour mieux comprendre les submersions marines et leurs conséquences : imagerie satellitaire, prises de vues aériennes, reconnaissances de terrain, enquêtes locales. Les données collectées et leurs exploitations ont permis d'identifier les plus pertinentes et la nécessité d'élaborer des protocoles de collecte.

ABSTRACT.

Further to storm Xynthia, several methods of data collection had been used in order to better understand coastal flooding and their consequences : satellites imagery, aerial imagery, terrestrial recognition, local enquiry. The use of the collecting data has helped to identify the most relevant and has shown the necessity to first establish procedures.

MOTS-CLÉS : Retour d'expérience / submersion marine / Xynthia / relevé des conséquences de l'inondation

KEYWORDS: Learnings / coastal flooding / Xynthia / reading of the flooding consequences

1. Introduction

Dans la nuit du 27 au 28 février 2010, la tempête Xynthia a entraîné d'importantes submersions marines (70 000 hectares pour les seuls départements de Vendée, Gironde et Charente-Maritime). Étant donné l'ampleur du phénomène, de nombreuses collectes de données ont été lancées après l'événement par différents maîtres d'ouvrage pour capitaliser au mieux toute information sur les conséquences physiques des inondations et sur leur déroulement. Différents modes de collectes d'informations ont été mis en œuvre : imagerie satellitaire, prises de vues aériennes, reconnaissances de terrain, enquêtes locales. Grâce à un retour d'expérience sur les différentes collectes menées suite à Xynthia et de leurs exploitations *a posteriori*, cet article illustre la complémentarité de ces modes de collectes pour recenser et comprendre les événements de submersion marine et propose des pistes d'amélioration.

2. Les données collectées suite à Xynthia et leur exploitation

La tempête Xynthia a fait l'objet d'une multitude de données collectées afin de comprendre et de garder trace de cet événement de grande ampleur. Cet article présente principalement les collectes menées par les services de l'État et par le réseau scientifique et technique du Ministère de l'Écologie et n'est donc pas exhaustif sur les nombreuses initiatives locales.

2.1. Les images satellites

Le Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises (Cogic) a déclenché par anticipation le samedi 27 février 2010 à 20h30 le processus Safer (Services and applications for emergency response) qui vise à produire et diffuser rapidement de l'information géographique sur les événements catastrophiques. Les premières images satellitaires (prises le 1^{er} et le 2 mars) ont été analysées sous 24h par le Service régional de traitement d'image et de télédétection (Sertit) (Sertit, 2010). Des images complémentaires plus tardives ont été également interprétées par le Sertit : 16 produits ont été ainsi livrés aux services chargés de la gestion de la crise entre le 2 et le 16 mars. Ces produits ont permis principalement une estimation rapide de l'extension des zones inondées ainsi que du délai de retour à la normale (évacuation de l'eau).

Le bilan de l'opération s'est révélé globalement positif, notamment quant à l'anticipation du déclenchement et la mise à disposition des produits. Quelques difficultés ont été néanmoins rencontrées, en lien avec une estimation initiale incomplète des zones affectées par la tempête, qui a conduit à prioriser l'estuaire de la Gironde et à retarder l'acquisition des images sur les autres zones de Vendée et de Charente-Maritime.

2.2. Les survols aériens par hélicoptère

En région Aquitaine, un premier vol d'identification des zones inondées a été réalisé le 28 février, du nord du département de la Gironde à l'île de Ré, par le Groupement d'intérêt public « Aménagement du territoire et gestion des risques » (GIP ATGeRi).

Des vols par hélicoptère ont ensuite été réalisés sous maîtrise d'ouvrage de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) de Gironde sur l'estuaire de la Gironde (linéaire de 370 km), le 6 et le 17 mars, afin d'identifier les zones inondées, le recul du trait de côte et les principaux dégâts, de réaliser un examen des digues et de définir les zones à inspecter par voie terrestre pour approfondir l'expertise.

En région Poitou-Charentes, des vols par hélicoptère ont été réalisés sous maîtrise d'ouvrage de la DDTM de Charente-Maritime les 8 et 16 mars (linéaire 225 km), avec les mêmes objectifs que précédemment.

Dans ces deux derniers cas, une assistance technique a été apportée par le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), direction territoriale Sud-Ouest (DTER SO, ex-CETE du Sud-Ouest).

En région Pays de la Loire, où existe depuis 2009 un protocole pour la collecte de données de connaissance des inondations, les DDTM concernées et la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal) Pays de la Loire ont décidé de tester ce protocole, axé initialement sur les inondations par débordement de cours d'eau. Dans ce cadre, des vols d'hélicoptères ont été réalisés les 3 et 4 mars sur l'ensemble du littoral de la région (excepté l'île d'Yeu et le nord du département de Loire-Atlantique) sous maîtrise d'ouvrage de la Dreal. Leur premier objectif était d'identifier les zones inondées et les principaux dégâts, notamment ceux subis par les ouvrages de protection.

En-dehors du protocole régional, un vol a été réalisé sur l'estuaire de la Loire par le GIP Loire Estuaire, un autre a été mis en œuvre par la commune de La Barre-de-Monts (85).

Les photographies aériennes obliques prises lors des survols par hélicoptère ont permis d'identifier rapidement les secteurs prioritaires pour les reconnaissances de terrain ultérieures, les enjeux majeurs touchés, les zones soumises à la submersion et au recul du trait de côte ainsi que les ruptures de digues.

Malgré les conditions de vol parfois difficiles (turbulences) et une autonomie limitée à 1h30 environ, les survols par hélicoptères du linéaire côtier à haute et basse altitude ou en station au-dessus de points particuliers, ont permis un recensement et une analyse rapides, qualitatifs et visuels des dégâts, malgré quelques difficultés pour localiser les observations. Ces survols ont été exploités par la suite dans le cadre des reconnaissances de terrain ou des études, notamment pour mieux cerner l'extension des zones inondées.

2.3. Les survols aériens par avion

Dans le cadre du protocole régional des Pays de la Loire, la production de photographies aériennes verticales était prévue. La Dreal a souhaité mettre en œuvre rapidement cette investigation. Cependant, l'absence de marché pré-existant et la couverture nuageuse importante les jours suivants l'événement n'ont pas permis le lancement de la campagne.

Des discussions entre l'Institut géographique national (IGN), le ministère du Développement durable, direction générale de la prévention des risques (DGPR) et la DTER Méditerranée du Cerema

ont permis toutefois le lancement d'une campagne aérienne spécifique. Elle a démarré 3 semaines après l'événement (clichés pris entre le 17 mars et le 10 avril). Le cahier des charges demandait l'acquisition d'images numériques, de haute résolution spatiale (20 cm), dans les longueurs d'onde du visible (couleur canaux RVB) et de l'infrarouge proche, avec une échelle de restitution à 1/10000 et un recouvrement des clichés permettant une analyse stéréoscopique. Environ 9 000 clichés ont été pris (MEDDTL, 2011), sur un territoire allant de la baie de Bourgneuf (44) à l'estuaire de la Gironde (33). La recette des clichés a été réalisée par la DTer Normandie-Centre du Cerema, sous maîtrise d'ouvrage de la DGPR. Certaines zones inondées lors de Xynthia n'ont pas été survolées (marais de Guérande, estuaire de la Loire et bassin d'Arcachon notamment).

2.4. Les survols aériens par drone

Des survols ponctuels par drones ont été organisés à des fins principalement expérimentales, dans le but d'évaluer leur pertinence et leur efficacité en contexte post-crise. Le pilotage de cette opération a été assuré par la Direction de la recherche et de l'innovation (DRI) du Conseil général du développement durable (CGDD) ; les vols ont été mis en œuvre en Charente-Maritime par l'École nationale de l'aviation civile (Enac) le 19 mars et en Loire-Atlantique par l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar) le 29 mars. Les objectifs des survols étaient multiples : observations des dégâts sur les ouvrages, vérification du comportement des ouvrages de protection à marée haute, évaluation du recul de cordons dunaires, restitution de modèles numériques de terrain (MNT), tests d'analyse stéréoscopique, etc.

Ces expérimentations ont permis de définir les produits et exploitations possibles (notamment la possibilité d'analyse stéréoscopique) mais également de mettre en évidence les limites d'utilisation des drones en contexte post-crise, vis-à-vis notamment des conditions météorologiques et de la qualité des images verticales. Les prises de vue n'ont pas été exploitées de manière opérationnelle par la suite.

2.5. Les reconnaissances de terrain

Plusieurs campagnes de levés de laisses d'inondation ont été menées.

Sur plusieurs secteurs du littoral, entre l'estuaire de la Loire et le bassin d'Arcachon, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et l'Office national des forêts (ONF) ont mené du 8 au 12 mars une mission de terrain. Ont été relevés ponctuellement des évolutions morphologiques, des niveaux et limites d'inondation ainsi que des dégâts.

En région Pays de la Loire, des laisses d'inondation ont été relevées par les DDTM 85 et 44, avec un appui du Cerema DTer Ouest en Vendée, dans le cadre de la mise en œuvre du protocole régional. Il s'agissait en Vendée de cotes de plus hautes eaux (PHE), qui ont été collectées dans un délai maximum de 8 jours après l'inondation, sur 3 secteurs de la pointe de l'Aiguillon fortement impactés par la submersion.

La communauté de communes de Noirmoutier a également recueilli des informations sur les niveaux d'eau atteints dans l'île, sur les surfaces inondées et les points d'entrée de l'eau.

En Gironde et en Charente-Maritime, des relevés ponctuels de PHE ont été réalisés respectivement par les DDTM 33 et 17.

2.6. Les enquêtes locales

Ces enquêtes, menées auprès de collectivités et de riverains rencontrés lors des reconnaissances de terrain, avaient pour objectifs de préciser, les caractéristiques hydrauliques de l'événement Xynthia, notamment l'ampleur et la dynamique de la submersion : niveaux d'eau atteints, points d'entrée de la submersion, etc. Elles ont été réalisées en Pays de la Loire et en Charente-Maritime (respectivement sous maîtrise d'ouvrage Dreal et DDTM) au cours de l'année 2010 plusieurs mois après l'événement.

3. L'analyse des submersions marines provoquées par Xynthia

Suite à ces collectes, plusieurs études ont été menées en parallèle afin de répondre à certains objectifs spécifiques (extension des submersions, défaillances des systèmes de protection, etc.). Les principales analyses des submersions ont été réalisées lors de la photo-interprétation des images aériennes verticales et des retours d'expériences régionaux.

3.1. L'analyse des photographies aériennes verticales

Après l'étude de faisabilité technique et financière, conduite en 2012 par le Cerema (DTer Ouest, Sud-Ouest, Méditerranée, Centre-Est, Normandie-Centre sous pilotage de la direction technique eau, mer et fleuves), il a été décidé de réaliser une analyse stéréoscopique numérique des clichés verticaux et de produire une orthophotographie, destinée à servir, d'une part, de support pour le report des informations issues de l'analyse stéréoscopique numérique et, d'autre part, de fond de plan récent pour d'autres études. L'étude de faisabilité a permis également de définir les différents indices à rechercher sur les clichés : évolutions morphologiques, traces d'érosion, identification de zones toujours en eaux, de zones ressuyées, dégâts sur les ouvrages, etc.

Bien que les clichés aient été pris 3 semaines après l'événement, les tests ont montré que ces indices pouvaient être repérés, y compris pour l'extension des submersions. En effet même si la zone soumise à l'inondation ne peut être précisément définie à partir de cette seule source, les nombreuses traces du passage de l'eau permettent d'en donner un contour approché. Ces tests ont également permis de définir la méthode d'analyse et ont montré la longueur de l'exercice sur des zones aussi vastes que celles touchées par Xynthia. Il a donc été décidé d'analyser uniquement certains secteurs (côtes charentaises, marais du Blayais, baie de l'Aiguillon notamment). Ces études spécifiques visent plusieurs objectifs : analyse des systèmes de protection (Cerema, 2014), analyse de la dynamique de submersion dans les marais rétro-littoraux (CETE du Sud-Ouest, 2013), estimation du recul du trait de côte.

3.2. Les retours d'expérience régionaux : une synthèse des connaissances

Des retours d'expérience régionaux ont été réalisés en Pays de la Loire (CETE de l'Ouest, 2012), en Poitou-Charentes (Sogreah, 2011) et en Aquitaine (CETE du Sud-Ouest, 2010). Leurs objectifs étaient doubles : faire le bilan d'une part des conséquences hydrauliques de la tempête et d'autre part, des dégâts matériels. Les résultats se présentent majoritairement sous forme de cartographies, de courtes monographies et d'analyses.

Différents types de collecte ont été exploités. Les données recueillies par reconnaissance de terrain (photographies, levés de PHE) ont été largement exploitées, notamment pour définir l'étendue des submersions. Des informations relatives à la dynamique de l'inondation ont été déduites des diagnostics des ouvrages réalisés par la DTer Ouest du Cerema en Vendée et ponctuellement en Loire-Atlantique : les désordres constatés ont parfois permis de définir le sens du passage de l'eau et de caractériser la force d'écoulement. Les images aériennes obliques ont contribué notamment à la définition de l'étendue des submersions. Les enquêtes ont permis, outre la validation des analyses des images aériennes, d'analyser la perception de l'événement, précisant ainsi ponctuellement le déroulement et la dynamique de la submersion. Ces retours d'expérience régionaux n'intègrent toutefois pas les résultats des photo-interprétations d'images verticales, du fait du retard pris au lancement de ces études, et n'ont pas exploité les produits d'imagerie satellitaire, en raison de leur échelle générale inadaptée à une caractérisation fine de l'événement.

4. Les collectes d'information suite aux submersions marines

Sur la base de ces enseignements, les données les plus pertinentes à collecter afin de décrire *a posteriori* de manière satisfaisante les submersions marines peuvent être définies.

4.1. Les images satellites

La télédétection sur des images satellitaires permet, de manière rapide et automatisée, de déterminer le contour des zones inondées à un instant donné. Ces images sont notamment utiles pour les événements de grande ampleur, les satellites couvrant une surface importante du globe terrestre. Repassant pour certains plusieurs fois à l'aplomb du même point de la surface terrestre, les satellites peuvent permettre une analyse diachronique des images, et ainsi le suivi temporel de l'évolution des submersions et du retrait des eaux.

La principale limite à l'utilisation des données satellitaires réside dans la couverture de la zone considérée. Il est rare en effet que les satellites se trouvent à l'aplomb exact de la zone affectée au moment de l'ampleur maximale de l'événement (même si il est possible d'agir sur la trajectoire de certains satellites) et que les conditions météorologiques soient optimales. Il est à noter enfin que l'utilisation des images satellitaires pour des études de détail est encore aujourd'hui limitée par leur échelle inadaptée ; les progrès en cours et à venir sur les capteurs embarqués conduiront probablement à modifier cet état de fait.

4.2. Les photographies aériennes verticales

Les photographies aériennes verticales permettent une vision précise de l'ensemble de l'événement à un instant donné. Elles peuvent être utilisées dans les longueurs d'onde du visible en vision simple et stéréoscopique pour étudier : l'emprise des surfaces inondées, la dynamique de la submersion, le mode de défaillance des ouvrages et faire un bilan non exhaustif des dégâts. L'étude de clichés pris dans les longueurs d'onde de l'infrarouge proche permet de détecter les terrains qui ont été inondés dès lors que les clichés sont pris peu de temps après l'événement. La photo-interprétation par analyse stéréoscopique peut cependant être longue du fait des multiples objectifs possibles et de la résolution spatiale très fine des clichés. Elle doit donc être privilégiée dans le cas d'étude de certains secteurs prioritaires, des défaillances des systèmes de protection et de la dynamique de submersion ou pour apporter des données sur les secteurs manquant d'autres sources d'informations.

Le principal intérêt de ces données réside dans le caractère factuel fixant l'information à un instant donné. La définition des secteurs survolés doit être concertée afin de couvrir l'ensemble des secteurs inondés. En outre, un survol juste après le retrait des eaux est à privilégier afin que l'ensemble des informations potentiellement repérables soient visibles. Compte-tenu de ces conditions, une campagne de prises de vues aériennes verticales doit faire l'objet d'un pilotage dédié et d'un protocole permettant la mise en œuvre au moment adéquat du survol aérien. La principale limite de ces clichés réside dans la nécessité de faire réaliser l'interprétation par un photo-interprète connaissant les phénomènes considérés. Ces campagnes étant onéreuses, il convient de les réserver aux événements extrêmes.

4.3. Les autres prises de vues aériennes

Les survols à faible altitude par hélicoptère ou tout autre moyen aérien adapté (ULM, petit avion, etc.) permettent d'une part, de réaliser une analyse rapide en cours de vol de l'événement et d'autre part, de prendre des photographies obliques d'ensemble et de détail. Dans ce cadre, l'utilisation de drones pourrait se développer à l'avenir, notamment pour couvrir rapidement des secteurs isolés et inaccessibles.

Les photographies aériennes obliques sont utiles pour identifier l'extension des inondations et les principaux dégâts aux ouvrages de protection. La possibilité d'avoir des vues à différentes échelles, la rapidité de réalisation, le faible coût, sont leurs principaux atouts. En revanche, ce type de mission est difficile à mettre en œuvre en urgence et nécessite également un pilotage dédié et la définition en amont d'un protocole.

4.4. Les reconnaissances de terrain

Les reconnaissances de terrain sont indispensables pour constater et relever précisément les cotes des plus hautes eaux observées. Elles permettent également de relever les traces d'évolution morphologique et d'autres laisses d'inondation qui pourront renseigner sur l'extension de l'inondation et la dynamique des écoulements. Ces reconnaissances de terrain sont à réaliser de

manière systématique quelle que soit l'ampleur de l'événement et le plus rapidement possible dès le retrait des eaux. La mise en place d'un protocole de collecte au préalable (Cerema, 2014) permet un gain de temps, une optimisation des moyens disponibles et une amélioration de la fiabilité des laisses collectées.

4.5. Les enquêtes locales

La recherche de témoignages humains est un type de collecte qui peut paraître superflu si on dispose déjà de nombreuses données par ailleurs. Néanmoins, et en tenant compte des limites inhérentes à tout témoignage humain, notamment quand celui-ci rend compte d'éléments vécus en situation de crise, ces enquêtes peuvent permettre de valider et compléter les informations, en particulier celles concernant la dynamique de la submersion.

5. Conclusion

Le retour d'expérience de la tempête Xynthia montre la nécessité de disposer de données nombreuses et de bonne qualité pour l'analyse de l'événement afin d'en tirer des enseignements pertinents et utiles aux différents volets de la prévention des risques, notamment la préparation à de futures crises. Chaque type de collecte peut être utilisé, d'une part, en fonction de ses avantages et de ses inconvénients et, d'autre part, en fonction de l'ampleur de l'événement. Si les images satellites et les photographies aériennes sont principalement utiles sur les événements de grande ampleur, les collectes par reconnaissance de terrain et les enquêtes locales doivent dans la mesure du possible être menées pour tous les événements de submersion marine.

Afin d'obtenir les informations indispensables à l'analyse, les collectes doivent être organisées et préparées. Chaque type de collecte doit faire l'objet d'une coordination des différents levés afin d'optimiser les moyens mis à disposition, le temps (au moment de la prise de décision et lors de la réalisation des collectes) et les informations recueillies. Ce retour d'expérience montre donc l'importance d'un processus décisionnel d'intervention préalablement défini et partagé, d'une définition précise des livrables attendus et de réflexions préalables sur les méthodes et l'organisation des collectes. L'élaboration de protocoles de collectes de données, tels que celui présentant les reconnaissances de terrain après une inondation (Cerema, 2014), trouvent dans ce cadre toute leur justification.

Bibliographie

Cerema. (2014). *Protocole de collecte d'informations par reconnaissances de terrain suite à une inondation – Guide méthodologique*, rapport CEREMA, à paraître au second semestre 2014.

Cerema. (2014). *Étude des systèmes de protection contre les submersions marines – Méthodologie et études de cas issues du retour d'expérience Xynthia – Étude du site de Loix (Charente-Maritime)*, DGPR, rapport Cerema à paraître au second semestre 2014.

CETE du Sud-Ouest (2013). *Retour d'expérience de la tempête Xynthia – Analyse par photo-interprétation des clichés aériens de l'IGN – Application au marais du Blayais*, DGPR, février 2013.

- CETE de l'Ouest. (2012). *La tempête Xynthia du 28 février 2010 – Retour d'expérience en Loire-Atlantique et en Vendée – Volets hydraulique et ouvrages de protection*, DREAL Pays de la Loire, octobre 2012.
- CETE du Sud-Ouest. (2010). *Monographie de la tempête Xynthia - 28 février 2010 - Estuaire de la Gironde, Garonne et Dordogne*, DDTM de la Gironde, 53 pages.
- MEDDTL. (2011). *Photographies aériennes post-Xynthia*. <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/photos-aeriennes-post-xynthia-r186.html>. Consulté le 24/03/14.
- Sertit. (2010). *Bilan de l'action SAFER n°29*. http://sertit.u-strasbg.fr/SITE_RMS/2010/04_rms_france_tempete_2010/04_rms_france_tempete_2010.html consulté le 20/03/14
- Sogreah. (2011). *Éléments de mémoire sur la tempête Xynthia du 27 et 28 février 2010 en Charente-Maritime*, DDTM de Charente-Maritime, mars 2011.