



HAL
open science

Dommages agricoles liés aux submersions marines - Préconisations pour l'adaptation des fonctions de dommages au contexte salin

Pauline Bremond, Frédéric Grelot

► **To cite this version:**

Pauline Bremond, Frédéric Grelot. Dommages agricoles liés aux submersions marines - Préconisations pour l'adaptation des fonctions de dommages au contexte salin. [Rapport de recherche] INRAE UMR G-EAU. 2020, 74 p. hal-03722949

HAL Id: hal-03722949

<https://hal.inrae.fr/hal-03722949>

Submitted on 13 Jul 2022

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.



Dommmages agricoles liés aux submersions marines

Préconisations pour l'adaptation des fonctions de dommages au contexte salin

Décembre 2020

Auteurs : Pauline Brémond, Frédéric Grelot

Contributrices : Morgane Dememes, Coline Marguet, Kathleen Varona-Gomez, Marlène Villanueva

Relectrices : Léa Brenneval, Bénédicte Meurisse

Travaux développés dans le cadre du groupe de travail GT ACB-AMC piloté par le CGDD

INRAE - UMR G-EAU

361 rue J.F. Breton - BP 5095

34196 Montpellier Cedex



Table des matières

I	Rapport méthodologique	5
1	Introduction	6
1.1	Contexte et objectifs	6
1.2	Etat de l’art des impacts des submersions marines sur les enjeux agricoles	6
1.2.1	Dommages liés aux inondations non salines sur les enjeux agricoles	6
1.2.2	Retours d’expérience concernant la tempête Xynthia de 2010	8
1.2.3	Autres retours d’expérience sur des submersions marines	9
2	Méthodologie	10
2.1	Présentation générale	10
2.2	Entretiens	10
2.2.1	Prise de contact	10
2.2.2	Guides d’entretien	11
2.2.3	Entretiens réalisés en 2011	11
2.2.4	Entretiens réalisés en 2018	11
3	Résultats : spécificités des dommages à l’agriculture en contexte salin	13
3.1	Types de dommages considérés	13
3.2	Paramètres de l’aléa	14
3.3	Pertes de rendement directes	14
3.3.1	Les céréales	15
3.3.2	Viticulture	15

3.3.3	Pommes de terre	15
3.4	Pertes de rendement induites	15
3.5	Dommmages et replantation du matériel végétal pérenne : cas des vignobles	15
3.5.1	Dommmages aux plantations	15
3.5.2	Replantation du vignoble	16
3.6	Dommmages et restauration des sols	16
3.6.1	Dommmages aux sols	16
3.6.2	Restauration des sols	16
3.7	Dommmages au matériel de pompage et drainage	17
3.8	Dommmages induits liés à l'irrigation	18
3.9	Dommmages aux systèmes d'élevage	18
3.9.1	Dommmages aux animaux	18
3.9.2	Dommmages aux cultures	18
3.9.3	Dommmages aux stocks de fourrage	19
3.9.4	Dommmages aux clôtures	19
3.9.5	Dommmages induits pour le système	19
3.9.6	Temps de retour à la normale	19
4	Préconisations pour l'adaptation des fonctions de dommmages et limites	20
4.1	Adaptations nécessaires	20
4.1.1	Ajustement des pertes directes de rendement	20
4.1.2	Ajustement des pertes de rendement les années suivants l'évènement	21
4.1.3	Ajustement de la liste et des coûts des actions supplémentaires ou annulés	21
4.1.4	Nettoyage et restauration des sols	21
4.1.5	Synthèse	21
4.2	Cas des dommmages aux systèmes d'élevage	21
4.2.1	Ajustement des pertes directes sur les prairies et cultures fourragères	22
4.2.2	Mortalité des animaux	22

4.2.3	Dommages au stock de fourrage	22
4.2.4	Dommages aux palissages et clôtures	22
4.2.5	Dommages induits pour l'abreuvement et l'alimentation des animaux	23
4.2.6	Retour auprès des experts	23
4.3	Limites, points de vigilance et perspectives	23
4.3.1	Prise en compte de la saisonnalité	23
4.3.2	Cultures non impactées par Xynthia	23
4.3.3	Discussion des stratégies de remise en état	23
4.3.4	Incertitudes	24
II	Annexes	25
A	Guides d'entretiens utilisés lors des enquêtes réalisées en 2018	26
A.1	Guide d'entretien utilisé auprès des experts	26
A.2	Guide d'entretien utilisé auprès des agriculteurs	32
B	Comptes rendu des entretiens réalisés en 2011	37
B.1	Entretien avec Julien Bernardeau, conseiller en grandes cultures (CA 17) et Jean Michel Hillaireau chercheur INRA à la ferme expérimentale de Saint Laurent de la Prée (17) .	37
B.2	Entretien avec Jérôme Poulard, spécialiste viticulture et pomme de terre à la coopérative UniRé (17) et Thierry Massias (CA 17)	42
B.3	Entretien avec Thierry Rattier, conseiller grandes cultures (CA 17)	47
B.4	Entretien avec Sébastien Bessonnet, conseiller élevage (CA 85)	51
C	Documents techniques	56
C.1	Documents fournis par les Chambres d'Agriculture	56
C.1.1	Rapport de Julien Bernardeau CA17 (2012)	56

Liste des tableaux

1.1	Composantes d'une exploitation agricole	7
1.2	Surfaces agricoles impactées par Xynthia (ha)	8
2.1	Entretiens réalisés auprès des experts en novembre 2018	11
2.2	Entretiens réalisés auprès des experts en novembre 2018	11
2.3	Entretiens réalisés auprès des agriculteurs en novembre 2018	12
4.1	Synthèse des préconisations pour l'adaptation des fonctions de dommages pour la com- posante "culture"	22

Première partie

Rapport méthodologique

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte et objectifs

Les travaux présentés dans ce rapport s'inscrivent dans le cadre d'un groupe de travail (GT ACB-AMC) créé en 2010 par le ministère en charge de l'environnement et piloté par le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) pour le compte de la Direction Générale pour la Prévention des Risques (DGPR).

L'objectif du GT ACB-AMC est de produire des méthodes pour évaluer les politiques de gestion des inondations et ainsi éclairer la décision publique dans ce domaine à l'échelle de la France. Ses travaux ont abouti en 2014 à la publication d'un guide (guide AMC) qui détaille la méthode préconisée à l'échelle nationale pour réaliser l'évaluation économique des projets de prévention des inondations qui relèvent des axes 6 et 7 des Programmes d'Actions et de Prévention des Inondations (PAPI). Ce guide a été actualisé en 2018 (Rouchon et al., 2018a) et la méthode qu'il préconise est toujours en évolution.

Ce rapport s'inscrit dans cette continuité. Il vise à donner des préconisations pour l'adaptation des fonctions de dommages développées pour le secteur agricole dans le cadre du GT ACB-AMC au contexte salin. La méthodologie et les fonctions de dommages développées pour le secteur agricole en contexte non salin sont décrites dans le rapport d'Agenais et al. (2013). L'outil qui a été développé pour produire les fonctions de dommages au secteur agricole s'appelle *floodam-agri*.

1.2 Etat de l'art des impacts des submersions marines sur les enjeux agricoles

1.2.1 Dommages liés aux inondations non salines sur les enjeux agricoles

Une revue de littérature a été réalisée par Brémond et al. (2013) sur les méthodes d'évaluation des dommages liés aux inondations sur les activités agricoles. Cette revue de littérature a mis en évidence que malgré l'existence de nombreux travaux sur les enjeux agricoles au niveau international aucune méthode d'évaluation des dommages directement transférable au contexte français n'existait.

En particulier, les points essentiels sont que :

- peu de méthodes incluaient l'ensemble des composantes d'une exploitation telles que décrites à

TABLE 1.1 – Composantes d’une exploitation agricole

Exploitation agricole	
Bâtiments agricoles	Bâtiments (hors habitation)
	Matériels / Outils de production
	Stocks (Intrants, Approvisionnements, Production intermédiaire, Production finale)
Parcelles	Cultures (Récoltes sur pieds et Plantes annuelles)
	Matériel végétal (pour les cultures pérennes)
	Sol
	Équipements (Clôtures, Systèmes d’irrigation, Serres, etc.)
Animaux	
Personnes / Main d’œuvre	

le tableau 1.1

- l’évaluation des pertes de rendement n’était pas transférable à des contextes différents en raison du manque d’information sur les cycles végétatifs des cultures
- les variations de valeur ajoutée induites par les inondations n’étaient pas prises en compte ou pas clairement explicitées donc non directement transférables au contexte français
- les variations de valeur ajoutée dans le temps (effets moyens et longs termes) n’étaient pas pris en compte ou pas clairement explicitées donc non directement transférables au contexte français

Dans la méthode qui a été développée au sein du GT ACB-AMC et décrite dans le rapport d’Agenais et al. (2013), un travail de collecte et de modélisation des savoirs experts a été réalisé. Ce travail a permis d’élaborer une méthodologie pour l’évaluation des dommages sur l’ensemble des composantes d’une exploitation agricole (tableau 1.1).

De façon opérationnelle, des fonctions de dommages liés aux inondations sur les parcelles ont pu également être produites sur la base de cette méthodologie. Ce sont les fonctions de dommages préconisées dans le guide méthodologique (Rouchon et al., 2018a) et des annexes techniques (Rouchon et al., 2018b). Les fonctions de dommages sur les bâtiments (incluant matériel et stock) ainsi que les fonctions de dommages aux animaux n’ont pas, à ce jour, été produites.

Les fonctions de dommages aux parcelles élaborées ont la particularité de combler une partie des lacunes identifiées par Brémond et al. (2013) :

- les différentes composantes des parcelles (tableau 1.1) sont prises en compte
- les pertes de rendements ont été définies sur la base des cycles végétatifs des cultures
- l’indicateur de dommages retenu est la variation de valeur ajoutée définie comme la différence entre les produits bruts élémentaires¹ et les consommations intermédiaires²
- les variations de charge ont été calculées sur la base des actions non réalisées ou supplémentaires exprimées par les experts enquêtés
- les variations de charge et de produit dans le temps ont été calculés sur la base des variations de rendement et des actions non réalisées ou supplémentaires exprimées par les experts enquêtés
- toutes les hypothèses faites pour le développement des fonctions de dommages ont été présentées, discutées et validées en groupe avec les experts enquêtés.

1. Les produits bruts élémentaires sont la valorisation des productions agricoles (animaux, produits animaux, végétaux et produits végétaux) vendues, stockées ou consommées hors subvention. Le produit à l’hectare d’une culture correspond donc au rendement à l’hectare multiplié par le prix unitaire de vente des produits.

2. Les consommations intermédiaires sont entendues comme les dépenses pouvant être attribuées à l’acte de production. Elles comprennent les semences, produits phytosanitaires, aliments, coûts de motorisation et d’entretien du matériel, la main œuvre saisonnière

Depuis 2013, il n’y a pas eu, à notre connaissance, de développement méthodologique nouveau concernant les dommages liés aux inondations sur les enjeux agricoles. Notons toutefois la démarche de Molinari et al. (2019) qui est en fait une adaptation de la méthode d’Agenais et al. (2013) au contexte italien.

1.2.2 Retours d’expérience concernant la tempête Xynthia de 2010

1.2.2.1 Rapports interministériels

La tempête Xynthia, survenue dans la nuit du 27 au 28 février 2010, a fortement touché les départements de Charente-Maritime (17) et de Vendée (85). Plusieurs retours d’expérience visant des objectifs divers ont été menés. Beaucoup ne traitent pas des dommages agricoles (Bersani et al., 2010; Rochet et al., 2010). Cependant, une série de missions interministérielles a eu pour objectifs de quantifier les dommages dont les dommages agricoles (Anziani, 2010; Léonard, 2010) et une mission spécifique a eu pour objectif de constituer un dossier pour une demande d’indemnisation au titre du Fonds de Solidarité de l’Union Européenne (Hernu et al., 2010). Les Chambres d’Agriculture ont participé au recensement des dommages et ont eu, ensuite, un rôle de conseil auprès des exploitants pour mettre en œuvre les actions de remise en état des sols sur l’année qui a suivi la tempête en collaboration avec les chercheurs de la ferme expérimentale de Saint Laurent de la Prée. La Chambre d’Agriculture de Charentes Maritimes a réalisé un suivi de la salinité des sols sur trois ans de 2010 à 2012. Les éléments sont présentés dans le rapport de Bernardeau (2012) en pièce jointe de ce rapport.

Le rapport d’information fait au nom de la mission commune d’information sur les conséquences de la tempête Xynthia (Anziani, 2010) qualifie le secteur agricole comme étant le plus touché par la tempête avec des pertes évaluées à 71,5 millions d’euros. Globalement, environ 32 000 hectares de surface agricole utile ont été inondés et entre 950 exploitations selon le Méditerranée (2012) et 1000 selon Bernardeau (2012) ont été touchées (960 pour (Anziani, 2010; Hernu et al., 2010)). 268 exploitations ont eu plus de 50% de leurs surfaces exploitées inondées et 53 exploitations ont été inondées à 100% (Hernu et al., 2010). Principalement, les cultures touchées ont été des céréales (3/4 des surfaces inondées), des prairies artificielles et naturelles. La table 1.2 donne les surfaces agricoles impactées recensées dans le rapport d’Anziani (2010). Sur l’île de Ré, 150 ha de vignes et 35 ha de pommes de terre AOC ont été recensés selon (Hernu et al., 2010). Selon (Agenais et al., 2010), ces chiffres sont de 125 ha concernés pour la vigne et 150 ha de terres dont 10 ha effectivement plantés en pomme de terre le reste étant planté en céréales. Certains élevages ont eu des pertes directes de cheptel. Un problème important a été la perte de stock fourrager combinée à la perte de productivité des prairies.

TABLE 1.2 – Surfaces agricoles impactées par Xynthia (ha)

Département	Grandes cultures semées	Grandes cultures non semées	Prairies	Total
17	4406	6106	10941	21453
85	5505	3156	1866	10527
total	9911	9262	12807	31980

Le rapport de la mission d’information sur les raisons des dégâts provoqués par la tempête Xynthia (Léonard, 2010) indique les montants indemnisés au titre du Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles (FNGCA). Ce montant s’élève à 30 millions d’€, dont 18 pour la Charente-Maritime.

Le rapport de Méditerranée (2012) indique 800 exploitations agricoles dans le département des Charentes Maritimes ont été identifiées par la DDTM avec des parcelles potentiellement inondées en croisant les données du RPG et des photos aériennes de l’emprise inondée. Cependant, seulement 317 dossiers d’indemnisation au titre du FNGCA ont été déposés à la DDTM. En Vendée, 160 exploitations

ont demandé une indemnisation FNGCA Hormis le rapport de Bernardeau (2012) qui rapporte des éléments portant de 2010 à 2012, l'ensemble des retours d'expérience ci-dessus ont été réalisés sur l'année 2010.

Un retour d'expérience à l'échelle de la ferme expérimentale de Saint Laurent de la Prée a été mené par Durant et al. (2018). Ce suivi des variations des rendements et des charges de la ferme expérimentale est particulièrement précis et bien documenté.

1.2.3 Autres retours d'expérience sur des submersions marines

Des retours d'expérience concernant les effets de submersions marines ont été relevés dans la littérature. En particulier, suite au tsunami au Japon en 2011, des méthodes de récupération des sols endommagés par le sel ont été analysées (Endo and Kang, 2015). Des évaluations des dégâts aux zones agricoles liés à la salinité ont été effectuées via des analyses de données spatiales (Goto et al., 2015).

Au Royaume-Uni, un retour d'expérience concernant des inondations d'eau saline de l'estuaire de l'Humber (Grande Bretagne) en Décembre 1921 analyse les effets de la salinité des sols sur les rendements d'un point de vue agronomique (Page and Williams, 1926). Une étude plus récente (Gould et al., 2020) propose une méthode d'évaluation des dommages agricoles pour les eaux salines. En particulier, Gould et al. (2020) proposent des stratégies post submersions qui pourraient avoir un effet positif sur la remédiation des sols : l'amélioration de la structure des sols par l'implantation de cultures ou prairies en combinaison avec un gypsage, l'implantation de cultures exportatrices de sodium comme la betterave, l'implantation de cultures tolérantes au sel une étude récente et intéressante en termes de réflexions sur les choix post submersion à l'échelle de l'exploitation agricole.

Chapitre 2

Méthodologie

2.1 Présentation générale

Notre travail se base sur :

- le recensement et l'analyse de documents concernant l'impact des submersions marines,
- une série d'entretiens réalisés en 2011,
- une série d'entretiens réalisés en 2018.

Nous avons recensé et analysé les documents concernant les dommages agricoles suite à la tempête Xynthia de type :

- retour d'expériences ministériels,
- rapports techniques des chambres d'agriculture,
- informations techniques à destination des agriculteurs (souvent mise à disposition par les chambres),
- articles scientifiques.

Les enquêtes réalisées auprès d'experts agricoles en 2011 l'ont été dans le cadre de l'élaboration des fonctions de dommages aux enjeux agricoles en contexte non salin de façon prospective et n'avaient pas été mobilisées. Il s'est agi de collecter des informations concernant les impacts de la tempête Xynthia après deux ans. Nous avons repris les résultats de ces entretiens dans le cadre de ce travail.

Ensuite, entre septembre et décembre 2018, un groupe d'étudiantes de SupAgro Montpellier a travaillé dans le cadre d'un projet encadré pour réaliser et analyser des entretiens. Le terrain d'étude qui avait été retenu est celui de la Charentes Maritime et de la Vendée sur les zones impactées par la tempête Xynthia en 2011. Il s'agissait en particulier de compléter des éléments sur les dommages subis et de consolider les informations sur les implications à long terme. Ces travaux ont fait l'objet d'un rapport (M. Dememes, C. Marguet, K. Varona-Gomez et M. Vilanueva) qui contient des éléments confidentiels et ne peut pas être publiquement diffusé.

2.2 Entretiens

2.2.1 Prise de contact

Nous avons cherché en priorité à contacter des experts agricoles qui étaient en poste en Vendée ou Charentes Maritimes en 2011 lors de la tempête Xynthia. Les premiers contacts ont été fait au

niveau des DDTM ou de la DREAL. Le plus souvent, les personnes en poste dans ces institutions en 2011 n'étaient plus en place et nous ont renvoyé vers les chambres d'agriculture. Dans les chambres d'agriculture, nous avons rencontré des experts correspondant aux différentes cultures représentées. Nous avons également consulté des experts au sein de deux structures coopératives (CAVAC et UniRé). Nous avons également rencontré des chercheurs et techniciens de la ferme expérimentale de Saint Laurent de la Prée qui a subi la tempête Xynthia. Enfin, nous avons complété les entretiens avec des contacts auprès d'agriculteurs en essayant de diversifier les types de production et les expériences de la tempête.

2.2.2 Guides d'entretien

Un guide d'entretien pour les experts agricoles (annexe A.1) et un guide pour les agriculteurs ont été développés (annexe A.2).

2.2.3 Entretiens réalisés en 2011

TABLE 2.1 – Entretiens réalisés auprès des experts en novembre 2018

	Prénom	Nom	Fonction	Institution
1	Julien	Bernardeau	Conseiller grandes cultures	Chambre d'Agriculture 17
2	Jean-Michel	Hillaireau	Chercheur	INRAE/ferme expérimentale (17)
3	Thierry	Rattier	Conseiller grandes cultures	Chambre d'Agriculture 85
4	Jérôme	Poulard	Viticulture et p. de terre	Coopérative UniRé (17)
5	Thierry	Massias	Conseiller maraîchage	Chambre d'Agriculture 17
6	Sébastien	Bessonnet	Conseiller élevage	Chambre d'Agriculture 17

Les entretiens réalisés en 2011 (tableau 2.1) ont été enregistrés et retranscrits sous forme synthétique. Ces retranscriptions ont été validées auprès des experts consultés. Les retranscriptions sont disponibles dans l'annexe B.

2.2.4 Entretiens réalisés en 2018

Les entretiens réalisés en 2018 (tableaux 2.2 et 2.3) ont été enregistrés et retranscrits de façon littérale.

TABLE 2.2 – Entretiens réalisés auprès des experts en novembre 2018

	Prénom	Nom	Fonction	Institution
1	Jean	Aimon	Chargé de mission économie	Chambre d'Agriculture 17
2	Jean Philippe	Bernard	Responsable innovation	Chambre d'Agriculture 17
3	Claude	Chataigner	Chef d'exploitation	INRAE/ferme expérimentale (17)
4	Lionel	Dumas Lattaque	Conseiller viticole	Chambre d'Agriculture 17
5	Daphné	Durant	Chercheuse	INRAE/ferme expérimentale (17)
6	Christophe	Mauger	Conseiller élevage	Chambre d'Agriculture 17
7	Michel	Prieur	Chargé élevage	INRAE/ferme expérimentale (17)
8	Eric	Quentin	Technico-commercial	Coopérative CAVAC (85)
9	Clarisse	Robineau	Responsable grandes cultures	Chambre d'Agriculture 17
10	Nicolas	Viacroze	responsable région Sud Océan	Coopérative CAVAC (85)

TABLE 2.3 – Entretiens réalisés auprès des agriculteurs en novembre 2018

	Activité	Coopérative	Commune	Département
1	céréaliculteur	CAVAC	Saint Michel en l'Herm	85
2	éleveur bovin		Charron	17
3	viticulteur	UniRé	La Couarde	17
4	viticulteur	UniRé	Communes Ile de Ré	17
5	éleveur ovin	CAVAC	Aiguillon sur Mer	85
6	céréaliculteur	CAVAC	Aiguillon sur Mer	85
7	éleveur bovin		Charron	17
8	viticulteur	UniRé	Communes Ile de Ré	17

Chapitre 3

Résultats : spécificités des dommages à l'agriculture en contexte salin

3.1 Types de dommages considérés

Hernu et al. (2010) ont listé les types de dommages constatés sur les enjeux agricoles suite à la tempête Xynthia :

- submersion et salinisation des sols sur cultures pérennes, grandes cultures et terres cultivables, prairies, compromettant les productions en place et/ou empêchant l'implantation de cultures de printemps ;
- dysfonctionnement du réseau hydraulique amplifiant le phénomène de salinisation des sols : destruction du système de drainage, fossés à nettoyer ;
- présence de dépôt de vases sur les terres ;
- embâcles et déchets à évacuer ;
- digues privées, chemins et accès à réparer ;
- stocks de foin extérieurs devenus inconsommables ;
- pertes de cheptel à l'extérieur ou à l'intérieur des bâtiments (ovins, volailles, ruches et miel) ;
- paillage plastique déchiré sur cultures maraîchères ;
- clôtures et palissage à reconstituer.

Hernu et al. (2010) ajoutent également qu'il convient de prendre en compte le coût des mesures propres à restaurer le potentiel de production des sols.

Dans l'article de Durant et al. (2018), une classification et ainsi qu'une quantification des dommages liés à la tempête Xynthia sur la ferme expérimentale de Saint Laurent de la Prée a été réalisé. Les dommages constatés sur la ferme ont été les suivants :

- perte de rendement sur les terres arables
- perte totale de paille
- dommages aux pâturages et prairies
- dommages aux sols
- dommages au matériel de drainage
- dommages aux voiries
- augmentation des tâches (nettoyage, soin au troupeau, réparation des pompes)
- retard de la mise en pâture

- ressemis
- achat de fourrage et paille
- modification des rotations

Bien que des bâtiments agricoles aient été impactés par Xynthia, nous disposons de peu d'éléments sur ces dommages. Les fonctions de dommages en contexte non salin ne traitant pas à l'heure actuelle les dommages aux bâtiments, nous avons concentré les analyses sur les dommages aux parcelles incluant :

- les cultures (sections 3.3 et 3.4)
- le matériel végétal pérenne (section 3.5)
- le sol (section 3.6)
- les équipements (sections 3.7 et 3.8)

Bien que les dommages aux systèmes d'élevage ne soient pas complètement pris en compte dans les fonctions de dommages actuelles, la section 3.9 traitera spécifiquement ce point. Nous développons par catégories de dommages les éléments que nous avons collectés dans les entretiens et documents techniques pour aller vers une adaptation des fonctions de dommages liés aux inondations en contexte salin.

3.2 Paramètres de l'aléa

La particularité de l'aléa de submersion est évidemment le sel contenu dans l'eau de submersion. D'après les entretiens réalisés, c'est la durée de submersion qui est le paramètre déterminant pour les dommages aux cultures et au sol. Cependant, la hauteur d'eau a également des effets :

- sur le tassement des sols
- sur l'endommagement de moteurs des pompes dans les parcelles

Comme Agenais et al. (2010) le précisent la date d'occurrence de la tempête Xynthia a également une grande influence sur les dommages subis à plusieurs niveaux :

- le stade végétatif des cultures influence la perte de rendement,
- la récupération des sols dépend de l'humidité avant et de la pluviométrie après la submersion,
- le calendrier des tâches à effectuer varie au cours de l'année.

Paradoxalement, la vitesse est peu ressortie dans les entretiens. Cependant, cela peut être lié au fait que les experts et les agriculteurs ne disposent que d'un seul évènement de référence.

3.3 Pertes de rendement directes

Les pertes de rendement directes sont entendues comme les variations de rendement sur le cycle en cours de production. Ces pertes sur les cultures sont différentes en contexte salin. Globalement, elles sont plus élevées que pour une inondation classique. Cependant, l'hypothèse de 100% de perte de rendement sur toutes les cultures en place n'est pas prédominante dans les entretiens. Dans le rapport d'Hernu et al. (2010) visant à faire une demande de subvention au titre du Fonds de Solidarité de l'Union Européenne, des chiffres sur les pertes de récoltes ont été produits. Ces chiffres ont été élaborés très rapidement après Xynthia avec l'aide des Chambres d'Agriculture. Ces estimations ne visaient pas une évaluation précise des dommages mais plutôt une enveloppe large permettant d'obtenir les subventions européennes. Ces chiffres ont été parfois repris dans des Analyses Coût Bénéfice comme celle développée par le bureau d'études UNIMA (UNIMA, 2011) qui reprend littéralement les montants de dommages du rapport de Hernu et al. (2010). L'erreur qui est faite dans ce cas est principalement de ne pas tenir compte de la saisonnalité potentielle des dommages.

3.3.1 Les céréales

Pour les céréales, le stade de la culture au moment de l'occurrence de l'évènement ainsi que la durée de submersion sont les paramètres déterminant la perte de rendement. Les pertes de rendement varient entre 50 et 100% de pertes de rendement.

3.3.2 Viticulture

Pour les ceps qui n'ont pas été arrachés, les entretiens de 2011 mettaient en évidence une perte de récolte très faible voir nulle. De plus, la qualité du vin n'a pas été affectée. Dans les entretiens de 2018, sans donner de valeur précise, il est fait état de pertes de rendement sur les vignes submergées.

3.3.3 Pommes de terre

Les cultures qui ont été submergées ont été totalement détruites. Cependant, la plantation des pommes de terre se faisant de fin janvier à mi-avril, toutes les parcelles n'étaient pas plantées au moment de Xynthia.

3.4 Pertes de rendement induites

Les pertes de rendement induites sont entendues comme les variations de rendement sur les cycles de production suivant l'année de l'évènement. Dans les fonctions de dommages en contexte non salin, ces pertes induites sont envisagées uniquement pour les cultures pérennes. En contexte salin, la salinisation des sols entraîne des impacts à plus long terme.

Les retours d'expérience réalisés suite à Xynthia prévoyaient des pertes de rendement induites sur deux années (Hernu et al., 2010). De même, dans les entretiens réalisés en 2011, cette durée était envisagée. Les entretiens que nous avons réalisés en 2018 ont montré que cette durée n'est pas celle qui a été observée. Après Xynthia, des impacts sur les rendements des années suivantes ont pu être observés :

- jusqu'à 5 ou 7 ans pour les céréales
- jusqu'à 3 ans sur les prairies
- entre deux et 7 ans pour la viticulture

Pour la culture de pomme de terre, lorsque les travaux de remise en état et de restauration des sols avaient été correctement réalisés, la culture a pu être implanté en 2011 sans impact sur les rendements.

3.5 Dommages et replantation du matériel végétal pérenne : cas des vignobles

3.5.1 Dommages aux plantations

Selon les entretiens de 2018, le taux de mortalité de la vigne exposée a été de l'ordre de 10%. L'âge de la vigne a joué un rôle sur la mortalité. Les vignes les plus jeunes (0-7 ans) ont été les plus vulnérables alors que les vignes âgées de plus de 20 ans n'ont quasiment pas souffert.

3.5.2 Replantation du vignoble

Selon les entretiens réalisés en 2011, lorsque la mortalité des ceps a dépassé 30%, l'ensemble de la parcelle a été replantée. Cependant, les entretiens de 2018 ont révélé que différentes stratégies de replantation avaient été mises en œuvre. En effet, certaines exploitations ont pu tout arracher et replanter dans les deux années qui ont suivi Xynthia. Pour d'autres, le renouvellement des parcelles s'est fait progressivement étalant jusqu'à 8 ans la durée de retour à la normale.

3.6 Dommages et restauration des sols

3.6.1 Dommages aux sols

Les dommages aux sols dans le cas des submersions sont spécifiques pour plusieurs raisons :

- les dépôts sont composés de boues mais aussi de sables et d'algues qui doivent être enlevés rapidement pour éviter leur prolifération
- l'eau salée entraîne deux effets potentiels que sont la salinité (concentration totale de sels/ions) et la sodicité (concentration spécifique en sodium)
- suivant le type de sol (sableux ou argileux), la pluviométrie avant et après la submersion, la salinité et la sodicité des sols peut varier
- le volume important d'eau sur les parcelles peut créer des zones de compaction du sol
- il est important de permettre l'évacuation du sel par lessivage ce qui nécessite un réseau et du matériel hydraulique en bon état.

Il semble que concernant Xynthia, les dommages au sol aient été particulièrement important du fait de la faible humidité des sols dans la région à cette période (Agenais et al., 2010).

Bernardeau (2012) explique que la salinité engendre deux types de dommages spécifiques. En effet, la submersion par de l'eau salée entraîne des asphyxies et destructurations spécifiques. D'autre part, la salinité a un effet sur la production des sols et rend les rendements des années suivantes aléatoires.

Sur les sols sableux, la problématique est plus celle de la salinité que de la sodicité. La concomitance du poids de la colonne d'eau et du sel entraîne des tassements qui ont des effets sur la possibilité d'enracinement des cultures. Il existe un lien entre la capacité d'évacuation de l'eau salée et les dommages liés au sol. Certains agriculteurs ont tenté d'évacuer par le système de drainage ce qui a entraîné une pénétration en profondeur du sel et a pu empirer les dégâts. L'évacuation par les canaux (par le haut) a permis de limiter les dommages.

3.6.2 Restauration des sols

3.6.2.1 Céréales

Le gypsage consiste en l'application sur les sols ayant subi une submersion d'eau salée, de gypse (sulfate de calcium $CaSO_4$). Le gypse produit du calcium soluble qui vient remplacer le sodium échangeable pour améliorer la texture du sol en diminuant sa sodicité (Durant et al., 2018). Dans le rapport d'Hernu et al. (2010), la méthode de gypsage est préconisée comme la plus adaptée pour la restauration des sols. Un traitement de 10 à 30 tonnes par hectare est préconisé en précisant que le traitement pourrait avoir à être renouvelé en fonction du temps d'exposition des parcelles.

Dans les entretiens menés en 2011, les conseils étaient de 8 à 12 t/ha à répéter les deux années suivant la submersion.

Dans les entretiens menés en 2018, ce sont 20t/ha pendant 3 années qui ressortent comme la pratique chez les agriculteurs enquêtés.

L'article de Durant et al. (2018) rappelle les préconisations données par l'INRA aux agriculteurs impactés par Xynthia. Ces préconisations étaient de l'ordre de 8 t/ha.

L'implantation de cultures de printemps est aussi évoquée pour limiter les risque de destruction des sols. Il s'est agit de semer de l'orge ou du tournesol avec une récolte très faible mais dans l'optique de restructurer les sols. Ces cultures de printemps (orge ou tournesol) ont dans certains cas généré récolte. Parfois une culture de maïs a été implantée mais elle a très mal toléré la salinité. L'effet attendu était principalement l'assèchement et la restructuration du sol.

3.6.2.2 Vigne

Sur les vignes de l'île de Ré, le gypsage n'a pas été nécessaire (sols sableux) et s'avérait impossible du fait des pieds de vigne en place. Les chambres d'agriculture ont préconisé le nettoyage puis l'apport de matière organique.

Nettoyage Les entretiens réalisés en 2018 ont mis en évidence que le nettoyage liés à la submersion demandait plus de temps en raison des dépôts d'algues sur les ceps. Le rapport d'Hernu et al. (2010) préconisait 4 800 heures de nettoyage pour 150 ha soit 32h/ha. Les entretiens de 2011 font état de 300 personnes mobilisées une demi journée pour 100ha soit 15h/ha.

Amendement organique Dans les entretiens de 2011, la valeur de 150€/ha pour l'amendement organique avait été donnée. Dans les entretiens de 2018, la valeur donnée est de 200€/ha.

3.6.2.3 Pommes de terre

Dans les entretiens de 2018, les actions suivantes ont été identifiées pour la restauration des sols destinés à la culture de pomme de terre :

- aération des sols
- implantation d'un engrais vert (sorgho fourrager)
- apport de matière organique (compost)

Certains agriculteurs ont mis en jachère pendant 1 ou 2 ans les terres qui avaient été submergées.

3.7 Dommages au matériel de pompage et drainage

La hauteur d'eau est un paramètre déterminant pour l'endommagement des pompes du réseau de drainage. Les moteurs des pompes ont été submergés. Les coûts de remplacement ont été estimés à 600 à 1200€par moteur. Nous n'avons pas d'information sur la localisation et le nombre de ces équipements qui dépendent souvent des Associations Syndicales Autorisées en charge du drainage.

3.8 Dommages induits liés à l'irrigation

Pour la culture de la pomme de terre, il a été observé des difficultés pour irriguer les cultures qui n'avaient pas été touchées par la submersion car l'eau d'irrigation était devenue saumâtre. Des citernes d'eau douce ont dû être amenées.

3.9 Dommages aux systèmes d'élevage

En Vendée et Charentes maritimes, les exploitations d'élevage sont principalement des élevages bovins laitiers le plus souvent avec une production propre du fourrage. On trouve également des élevages ovins. La principale difficulté rencontrée par ces exploitations a été d'abord l'abreuvement des troupeaux puis l'alimentation des troupeaux et la reconstitution du stock de fourrage, effet qui a perduré sur plusieurs années.

3.9.1 Dommages aux animaux

Au moment où Xynthia s'est produite, les animaux étaient localisés dans les bâtiments d'élevage. La plupart des bâtiments sont situés en hauteur et n'ont pas subi de dommages. Toutefois, dans les bâtiments localisés en zone basse, la mortalité a été importante, en particulier pour les ovins, étant donné que la submersion avait une hauteur importante et s'est produite dans la nuit.

3.9.2 Dommages aux cultures

3.9.2.1 Luzerne

Concernant la luzerne, les entretiens de 2011 ont révélé une forte variabilité des pertes de rendement. La durée de submersion joue un rôle important et au-delà d'une durée seuil la luzerne de l'année en cours a été totalement perdue et les luzernières ont dû être replantées. Cependant, d'autres phénomènes non identifiés par les experts consultés semblent avoir joué un rôle. En effet, des luzernières exposées moins longtemps ont pu subir de forts dommages.

3.9.2.2 Prairies naturelles

Les prairies naturelles se sont avérées plus robustes. La production de l'année en cours a été perdue mais les prairies sont reparties les années suivantes. Selon les entretiens menés en 2018, les pertes de rendement s'élèvent à 100% la première année puis 50% la deuxième année avec un retour à la normale à la troisième année.

3.9.2.3 Maïs ensilage

Au moment où Xynthia s'est produite, le maïs ensilage n'avait pas encore été planté. Lorsque des tentatives de plantation ont été faites, le maïs a montré une très forte sensibilité à la salinité et les plantes ne se sont pas développées.

3.9.3 Dommages aux stocks de fourrage

Le fourrage stocké en botte a pu être endommagé. Il faut noter que l'humidité remonte par capillarité dans le stock et peut endommager l'intégralité du stock. Des risques d'incendie peuvent également exister du fait de la fermentation à l'intérieur des bottes.

3.9.4 Dommages aux clôtures

Certaines clôtures ont rouillé de façon prématurée en raison du caractère salin. Nous n'avons pas d'éléments de coûts pour ces aspects.

3.9.5 Dommages induits pour le système

3.9.5.1 Abreuvement des animaux

En temps normal, les animaux s'abreuvent dans des trous d'eau qui se remplissent via la nappe. Suite à la submersion, l'eau est devenue saumâtre. Dans certains cas, l'eau saumâtre a été pompée et les trous d'eau remplis avec de l'eau douce. Lorsqu'aucun abreuvoir d'eau douce n'était disponible sur les prairies, celles-ci n'ont pas pu être utilisées.

3.9.5.2 Alimentation des animaux - Reconstitution des stocks

Lorsque le système d'alimentation était mixte, les éleveurs ont dû augmenter la part de fourrage pour compléter les prairies moins productives. Lorsque le système d'alimentation est basé uniquement sur l'herbe, Durant et al. (2018) expliquent que les coûts d'alimentation du troupeau ont augmenté car la date d'entrée dans les pâtures a été décalée de deux semaines sur leur exploitation. Les coûts supplémentaires sont les coûts d'achat de fourrage et de concentrés. Un système d'entraide et de solidarité a été mis en place pour permettre l'approvisionnement en fourrage. En effet, 2010 a été une année fourragère difficile partout en France. Cependant, du fourrage a été apporté d'autres départements. Il a également été possible d'acheter du fourrage aux éleveurs non touchés. Des substituts tels que la pulpe de betteraves ont été proposés par la Chambre d'Agriculture. Des pommes de terre de l'île de Ré ont également été utilisées.

3.9.6 Temps de retour à la normale

Selon Durant et al. (2018), trois années ont été nécessaires pour retrouver une production normale sur les prairies. Les entretiens de 2018 mettent en évidence que pour les éleveurs le temps de retour à la normale d'un point de vue financier est estimé à quatre ans après Xynthia.

Chapitre 4

Préconisations pour l'adaptation des fonctions de dommages et limites

4.1 Adaptations nécessaires

4.1.1 Ajustement des pertes directes de rendement

Avec les différents éléments présents dans les entretiens et les documents techniques, il semble que nous pourrions ajuster les pertes de rendement directes pour un événement de l'intensité et dont la période d'occurrence est proche de Xynthia (submersion hivernale) pour une partie des 14 cultures représentées dans les fonctions de dommages à savoir :

- le blé tendre
- la viticulture
- les prairies permanentes
- les prairies temporaires
- légumes - fleurs
- fourrage

Une confrontation des différentes valeurs ayant pu être constatées dans les différents entretiens devra être réalisée. Ces valeurs devront être présentées aux experts rencontrés pour discussion et validation.

L'extrapolation des pertes de rendement aux autres saisons et à d'autres types de culture représentés dans les fonctions de dommages, nécessite un travail supplémentaire d'entretiens avec les experts. Avec ce travail complémentaire, il est envisageable, pour des submersions hivernales, d'extrapoler les pertes de rendement directes aux types suivants :

- maïs
- orge
- autres céréales
- colza
- tournesol
- autres oléagineux
- autres cultures industrielles

Pour la catégorie arboriculture, une extrapolation n'est à ce stade pas envisageable par manque de données de retour d'expérience

4.1.2 Ajustement des pertes de rendement les années suivants l'évènement

Avec les éléments dont nous disposons et pour la saison correspondant à Xynthia, nous pourrions proposer pour chaque type de culture des valeurs de pertes de rendement induites sur les cultures citées dans la section 4.1.1. Dans les documents et les entretiens, nous avons pu constater une variabilité importante des temps de retour à la normale. Une confrontation des différentes valeurs et une validation auprès des experts sera nécessaire.

4.1.3 Ajustement de la liste et des coûts des actions supplémentaires ou annulés

Les éléments de coûts identifiés dans les documents techniques ainsi que dans les entretiens devront être modifiés dans les fichiers de données de *floodam-agri*. Si différentes actions ou différentes valeurs sont identifiées, il s'agira de les faire discuter aux experts pour trouver l'hypothèse la plus représentée.

4.1.4 Nettoyage et restauration des sols

Pour la catégorie blé tendre,

- application du gypse sur les parcelles
- la plantation d'une culture de printemps pour restructurer le sol (ajustement des coûts et produits)

Concernant le gypsage, il s'agit d'une action qui apparaît incontournable en céréaliculture. Le coût et le nombre de passages nécessaires devront être consolidés et validés auprès des experts consultés. Il pourra également être envisagé d'évaluer le coût d'autres méthodes de restauration si elles ont été testées dans d'autres pays.

Pour la viticulture,

- ajustement du temps de nettoyage des parcelles suite au dépôt d'algues
- ajout de la tâche d'apport d'amendement organique

Le coût de ces actions devront être validés auprès des experts consultés. De même, la question de la saisonnalité devra être réabordée avec les experts.

4.1.5 Synthèse

Le tableau 4.1 propose une synthèse des besoins d'adaptations des fonctions de dommages à l'agriculture pour une utilisation en contexte salin. Il indique en particulier si l'effet identifié sur les quatre composantes (culture, matériel végétal, sol et équipement) est pris en compte ou non dans les fonctions de dommages en contexte non salin, si oui, s'il est nécessaire d'ajuster la prise en compte pour le contexte salin et quel niveau de validation cela requerrait avec les experts agricoles.

4.2 Cas des dommages aux systèmes d'élevage

Le cas des dommages aux systèmes d'élevage est complexe.

TABLE 4.1 – Synthèse des préconisations pour l’adaptation des fonctions de dommages pour la composante "culture"

	Non salin	Salin	Validation
Cultures			
pertes de rendement directe	oui	ajustement	+
pertes de rendement induite (pérennes)	oui	ajustement	++
pertes de rendement induite (annuelles)	non	ajout	+
variations de charges	oui	ajustement	+
Matériel végétal			
mortalité	oui	ajustement	++
arrachage / replantation	oui	ajustement	++
Dommages sol			
nettoyage	oui	ajustement	+
gypsage / amendement	non	ajout	++
Équipement			
réparation clôture	oui	ajustement	+
réparation matériel irrigation	oui	ajustement	+
réparation matériel drainage	non	ajout	++

4.2.1 Ajustement des pertes directes sur les prairies et cultures fourragères

Pour la période correspondant à l’occurrence de Xynthia, avec les données dont nous disposons, les pertes de rendement directes ainsi que les pertes induites dans le temps devraient pouvoir être ajustées dans *floodam-agri*. Il s’agira encore une fois de valider avec les différents experts consultés les différentes valeurs retrouvées dans les entretiens. Pour extrapoler les valeurs aux autres saisons, un travail complémentaire devra être mené.

4.2.2 Mortalité des animaux

La méthode préconisée pour l’évaluation des troupeaux susceptibles de subir des mortalités présentée dans Agenais et al. (2013) pourra être adaptée.

4.2.3 Dommages au stock de fourrage

Les dommages au stock de fourrage devraient être intégrés dans l’évaluation des dommages. Pour cela, des données sur la présence de stock sur les exploitations devront être consolidées.

4.2.4 Dommages aux palissages et clôtures

Dans *floodam-agri*, les dommages aux palissages et clôtures sont pris en compte. D’après les éléments de nos entretiens, la salinité a peu d’impact sur ces dommages.

4.2.5 Dommages induits pour l'abreuvement et l'alimentation des animaux

La restauration des points d'alimentation en eau paraît plus longue et contraignante du fait de la salinité. Les coûts des actions de réparation devront être ajustés. Pour les difficultés d'alimentation des troupeaux, les dommages aux prairies sont monétarisés dans les fonctions de dommages. Ces hypothèses devront être discutées et validées avec les experts.

4.2.6 Retour auprès des experts

De manière générale, l'ensemble des hypothèses réalisées pour l'adaptation des fonctions de dommages devront être présentées et discutées avec les experts consultés lors de notre étude.

4.3 Limites, points de vigilance et perspectives

4.3.1 Prise en compte de la saisonnalité

Les documents techniques recensés ainsi que les entretiens réalisés ont permis d'obtenir des informations sur les dommages subis sur une période du cycle végétatif. Il est très difficile d'extrapoler les pertes de rendements à d'autres saisons. Les dommages aux sols pourraient eux aussi avoir une variabilité en fonction de la saison puisque les pluies post submersion ont un effet positif sur l'élimination du sel. Une proposition d'adaptation pourrait être envisagée pour les pertes de rendement directes et induites pour les saisons autres que la période d'occurrence de Xynthia après discussion avec les experts. Une étude sur les retours d'expérience sur les submersions marines dans d'autres pays, par exemple au Royaume Uni devrait être menée pour compléter ce point.

4.3.2 Cultures non impactées par Xynthia

Il n'est pas possible d'extrapoler avec les éléments dont nous disposons, les pertes de récolte aux cultures qui n'ont pas été impactées par Xynthia. Ici deux stratégies non exclusives sont envisageables :

- proposer aux experts des groupes de cultures proches sur lesquels ils leur paraît envisageable de proposer des pertes de rendement
- rechercher d'autres cas d'études pour compléter les cultures manquantes

Les phénomènes de salinisation des sols existent sans submersion (irrigation en milieu aride, remontée de biseau salin). La littérature en agronomie sur ces aspects pourra être mobilisée. Par ailleurs, des analyses des effets de submersion peuvent avoir été réalisés au Royaume Uni (Prof Joe Morris) ou au Japon. Il s'agit de s'assurer des données disponibles ou non sur ces cas.

4.3.3 Discussion des stratégies de remise en état

Les éléments collectés sur les actions de remise en état se basent principalement sur le retour d'expérience de Xynthia. L'ensemble des experts et agriculteurs consultés n'ont vécu qu'un seul événement de ce type. Les conseils de remise en état des sols sont difficilement discutables ou comparables à d'autres traitements. Ici également, une comparaison avec d'autres événements (Royaume Uni, Japon)

permettrait de confronter différentes options. Ce travail de confrontation des différentes options proposées par les différents experts consultés en termes de remise en état des sols ou de ressemis par exemple avait été fait pour les fonctions de dommages agricoles en contexte non salin.

4.3.4 Incertitudes

Beaucoup d'éléments dans les entretiens réalisés montrent une grande variabilité des effets de la salinité liée à la structure et la texture des sols. Pour l'application des fonctions de dommages, il ne paraît, a priori, pas possible de prendre en compte ce paramètre. Il convient donc de considérer une incertitude importante sur les valeurs de dommages produites par les fonctions de dommages.

Deuxième partie

Annexes

Annexe A

Guides d'entretiens utilisés lors des enquêtes réalisées en 2018

A.1 Guide d'entretien utilisé auprès des experts

EXPERTS

Évaluation des dommages liés aux submersions marines sur l'agriculture

Introduction

Sous l'impulsion du CGDD, une réflexion est menée sur l'évaluation des dommages à l'agriculture dus aux submersions marines. Ce projet, mené par l'IRSTEA, nécessite une importante collecte de données sur ces dommages, en particulier pour définir leur spécificité en comparaison des aléas d'inondation fluviale.

Pour l'évaluation des dommages aux activités agricoles, nous avons distingué les dommages subis par les bâtiments agricoles, de ceux subis par les parcelles et ceux subis par l'élevage. On se questionne ici sur ces deux dernières catégories exclusivement.

- *Au sein des dommages aux parcelles, nous avons distingué les dommages aux cultures, les dommages au sol et les dommages aux équipements.*
- *Au sein des dommages à l'élevage, nous avons distingué les dommages provoquant une contrainte d'alimentation des animaux, les dommages altérant la production du système d'élevage et les dommages aux équipements d'élevage.*

[IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture. organisme de recherche qui travaille sur les enjeux majeurs d'une agriculture responsable et de l'aménagement durable des territoires, la gestion de l'eau.]

1. Expériences de submersion marine

- Avez-vous connu des événements de submersions marines (inondation exclusivement par l'eau de mer) ?
 - Oui, lesquelles (année, nom, région, zones) :
 - Non
- Avez-vous participé à la gestion des conséquences des submersions marines ?
 - Oui, préciser de quelle manière (conseil, évaluation des dommages)
 - Non
- Description des événements de submersion vécus
 - À quelle(s) période(s) ont-elles eu lieu ?
 - Quelles étaient leurs caractéristiques (vitesse de courant, durée de submersion, hauteur d'eau, salinité de l'eau) ?
 - Comment décririez-vous leur intensité ?
 - Quelles zones ont été touchées ?
 - Les zones ont-elles été touchées de façon homogène ou y avait-il des disparités en termes d'intensité de l'aléa en fonction des zones touchées ?
 - Quelles étaient les cultures et/ou élevages concerné(s) ?
 - Quelle était la nature et l'ampleur des conséquences (nombre d'ha/de bêtes perdues, dommages totaux, etc.) ?

2. Dommages aux parcelles

2.1 Dommages aux cultures

- Avez-vous pu distinguer des zones différentes en termes d'impact et de caractéristiques de la submersion marine? Si oui, pouvez-vous répondre aux questions suivantes pour chacune des zones?
- Concernant la perte de rendement :
 - Quel niveau de perte de rendement a été constaté directement après la submersion ? Quel facteur a joué le rôle le plus important (durée, salinité, vitesse, ...) ?
 - Y a-t-il eu des pertes de rendement à plus long terme (plusieurs années après l'événement) ? Quel facteur a joué le rôle le plus important (durées, salinité, vitesse, ...) ?
- Y a-t-il eu des cas d'arrêt de la culture ? Pour quelles raisons (perte de rendement trop élevée, impossibilité de ressemer) ?
- Quels conseils ont été donnés en termes de ressemis ? Pourquoi ?
- La submersion marine a-t-elle ainsi donné lieu à des coûts supplémentaires ?
 - achat de semences
 - travail du sol
 - achat de fertilisants
- Au contraire, des économies ont-elles été réalisées sur certaines opérations ?
 - traitements évités
 - récolte non réalisée
 - irrigation

=> Si vous deviez relater les actions de remise en état des cultures, en proposant un coût unitaire pour chacune, que diriez-vous?

2.2 Dommages aux sols des parcelles

- Quels facteurs jouent un rôle déterminant sur l'ampleur des dommages aux sols ?
 - la hauteur d'eau ?
 - la durée de submersion (ressuyage complet inclus) ?
 - la vitesse de courant ?
 - la salinité de l'eau ?
- Avez-vous pu recueillir des mesures de salinité ou de sodicité sur le sol des parcelles? Si oui, avez-vous des comparaisons avant l'épisode de submersion ou après celui-ci ? (ordres de grandeur, si connus)

=> Actions de remise en état des sols des parcelles

- Le sol des parcelles a-t-il nécessité un nettoyage (enlèvement des boues et ou/débris)? Si oui, pouvez-vous estimer un coût ou un temps de nettoyage ?
- Une opération de gypsage a-t-elle été effectuée afin de rétablir une salinité et une sodicité normale des sols? Si oui, pouvez-vous décrire les actions mises en oeuvre par les exploitations (périodicité, coûts de l'opération) ?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour remettre en état les parcelles ?

2.3 Dommages aux équipements

- La submersion marine a-t-elle endommagé des équipements sur les parcelles ?

- le matériel d'irrigation
- les pompes de drainage
- les clôtures
- le palissage (s'il s'agit de vignes)
- autres
- Pour chaque type de dégât pré-cité, quels paramètres ont été déterminants sur les dommages générés (salinité, hauteur, vitesse) ?
 - matériel d'irrigation
 - pompes de drainage
 - clôtures
 - palissage (vignes)
 - autres
- La submersion marine a-t-elle endommagé des édifices de protection physiques contre les submersions marines ? (fossés, digues)
- Avez-vous constaté d'autres dégâts particuliers aux équipements liés à la salinité de l'eau ? Si oui, pouvez-vous les caractériser ?
- Y-a-t-il eu des actions de remise en état des équipements sur les parcelles? Des édifices de protection? Pouvez-vous estimer les coûts unitaires de chacune de ces actions?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour remettre en état les équipements ?

3. Dommages à l'élevage

3.1 Dommages sur le cheptel

- Avez-vous pu constater la mort d'animaux en conséquence à l'événement ?
 - Si oui, à combien estimez-vous cette mortalité ?
 - Non
- Savez-vous si des frais vétérinaires supplémentaires ont été engagés pour soigner les bêtes ?
 - Si oui, pouvez-vous en estimer le coût?
 - Non
- Avez-vous vu des cas où le troupeau a été déplacé suite à la submersion marine (relocalisation du troupeau) ?
 - Si oui, savez-vous s'il y a eu un coût supplémentaire en termes de temps, de transport et d'investissement foncier (achat d'un nouveau pâturage ou d'un bâtiment) ?
- Savez-vous combien de temps cela a pris pour renouveler le cheptel ? Pouvez-vous en estimer le coût ?

3.2 Dommages provoquant une contrainte en terme d'alimentation

- Pouvez-vous dire si une prairie touchée par une submersion marine sera encore considérée comme pâturable, même pour une submersion de courte durée (effets de la salinité...) ? Si non, combien de temps faut-il pour qu'elle soit à nouveau pâturable?

- Y-a-t-il eu des opérations/actions de remise en état des prairies? Si oui, pouvez-vous en estimer le coût?
- En cas de prairies devenues non pâturables, savez-vous quelles solutions peut trouver l'éleveur pour nourrir ses animaux ?
 - achat de fourrage à l'extérieur
 - déplacement sur d'autres prairies pâturables
 - achat de nouvelles prairies
 - rationnement des animaux pour acheter moins d'aliments supplémentaires
 - aliments de substitution : différent en termes de qualité ou de prix ?
- Savez-vous si les stocks de nourriture sur l'exploitation sont généralement assez importants pour que ces pertes (fourrage ou prairie) n'aient pas d'influence l'année d'occurrence de la submersion ?
- Savez-vous combien de temps cela a pris pour retrouver l'équilibre dans l'apport alimentaire ?

3.3 Dommages altérant la production

- Savez-vous si un événement de submersion marine peut entraîner ou favoriser le développement de maladies chez les animaux? Dans quel contexte (animaux dans la prairie submergée, à proximité, évacuation tardive ou impossible...)?
- Avez-vous vu des cas où les animaux ont pu manifester un stress particulier après un événement de submersion marine ?
- Avez-vous pu constater des changements de fécondité ou de fertilité des animaux après un épisode de submersion marine ?
- Des baisses de productivité (en nombre de litres de lait, d'oeufs pondus...) ont-elles déjà été observées après des épisodes de submersion marine?
 - Si oui, pouvez-vous les estimer ?
 - Non
- Combien de temps cela a-t-il pris pour retrouver une production normale ?

4.4 Dommages aux équipements d'élevage

- Avez-vous constaté des dégâts particuliers sur les équipements, liés à la salinité de l'eau ? Si oui, lesquels ?
- Les clôtures des enclos ont-elles été endommagées par la submersion marine ?
- Les abreuvoirs et les circuits d'approvisionnement en eau dans les prairies peuvent-ils être endommagés ?
- Si les bâtiments où logent les animaux ne sont plus utilisables, ces derniers peuvent-ils rester dehors (selon la saison) ?
 - Peut-on envisager des solutions alternatives pour loger les animaux ?

- Sinon, que fait l'éleveur ?
- Si les stocks de paille ont été submergés, l'éleveur peut-il utiliser une autre litière ? Peut-il trouver de la paille facilement ailleurs ?
- Selon le type d'élevage, si la machine à traire est endommagée, l'éleveur peut-il procéder autrement ?
 - Comment ?
 - Peut-il y avoir des conséquences pour les animaux ?
- Peut-on imaginer d'autres équipements dont l'indisponibilité entraîne des modifications de la conduite des animaux ?
- Y-a-t-il eu des actions de remise en état des bâtiments/clôtures/abreuvoirs?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour remettre en état les équipements ?

Questions supplémentaires :

- Avez-vous des contacts de personnes ayant suivi l'événement, spécialistes d'autres cultures ou systèmes d'élevage par exemple ?
- Avez-vous des contacts d'agriculteurs ayant subi des conséquences importantes lors des événements remarquables ?
- Connaissez-vous des cas de faillite ou d'arrêt d'activité pouvant être reliés à l'occurrence d'une submersion ?
- Avez-vous des contacts d'agriculteurs subissant des submersions récurrentes ?

A.2 Guide d'entretien utilisé auprès des agriculteurs

AGRICULTEURS

Évaluation des dommages liés aux submersions marines sur l'agriculture

Introduction

Sous l'impulsion du CGDD, une réflexion est menée sur l'évaluation des dommages à l'agriculture dus aux submersions marines. Ce projet, mené par l'IRSTEA, nécessite une importante collecte de données sur ces dommages, en particulier pour définir leur spécificité en comparaison des aléas d'inondation fluviale.

Pour l'évaluation des dommages aux activités agricoles, nous avons distingué les dommages subis par les bâtiments agricoles, de ceux subis par les parcelles et ceux subis par l'élevage. On se questionne ici sur ces deux dernières catégories exclusivement.

- *Au sein des dommages aux parcelles, nous avons distingué les dommages aux cultures, les dommages au sol et les dommages aux équipements.*
- *Au sein des dommages à l'élevage, nous avons distingué les dommages provoquant une contrainte d'alimentation des animaux, les dommages altérant la production du système d'élevage et les dommages aux équipements d'élevage.*

[IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture. organisme de recherche qui travaille sur les enjeux majeurs d'une agriculture responsable et de l'aménagement durable des territoires, la gestion de l'eau.]

1. Présentation de l'exploitation

- Quel est la taille de votre exploitation ?
- Quelles sont les cultures (cépages si vignes) produites ?
- Quel est le cheptel de l'exploitation (si élevage) ?
- Avez-vous des certificats de qualité ? (AB)
- Quel est le rendement moyen pour chaque culture ?

2. Expériences de submersion marine

- Avez-vous connu des événements de submersions marines (inondation exclusivement par l'eau de mer) ?
 - Oui, lesquelles (année, nom, région, zones) :
 - Non
- Description des événements de submersion vécus
 - À quelle(s) période(s) ont-elles eu lieu ?
 - Quelles étaient leurs caractéristiques (vitesse de courant, durée de submersion, hauteur d'eau, salinité de l'eau... si connues) ?
 - Comment décririez-vous leur intensité ?
 - Quelles zones ont été touchées ?
 - Les zones ont-elles été touchées de façon homogène ou y avait-il des disparités en termes d'intensité de l'aléa en fonction des zones touchées ?
 - Quelles étaient les cultures et/ou élevages concerné(e)s ?
 - Quelle était la nature et l'ampleur des conséquences (nombre d'ha/de bêtes perdues, dommages totaux, etc.) ?

3. Dommages aux parcelles

3.1 Dommages aux cultures

- Concernant la perte de rendement :
 - Quel niveau de perte de rendement a été constaté directement après la submersion ? Quel facteur a joué le rôle le plus important (durée, salinité, vitesse, ...) ?
 - Y a-t-il eu des pertes de rendement à plus long terme (plusieurs années après l'événement) ? Quel facteur - quel impact de la submersion - a joué le rôle le plus important (durées, salinité, vitesse, ...) ?
- Y a-t-il eu des cas d'arrêt de la culture ? Pour quelles raisons (perte de rendement trop élevée, impossibilité de ressemer) ?
- S'il y a eu un deuxième semi, quels conseils ont été donnés en termes de nouveau semis ? Pourquoi ?
- La submersion marine a-t-elle ainsi donné lieu à des coûts supplémentaires ?
 - achat de semences
 - travail du sol
 - achat de fertilisants
- Au contraire, des économies ont-elles été réalisées sur certaines opérations ?
 - traitements évités
 - récolte non réalisée
 - irrigation

3.2 Dommages aux sols des parcelles

- Quels facteurs jouent un rôle déterminant sur l'ampleur des dommages aux sols ?
 - la hauteur d'eau ?
 - la durée de submersion (ressuyage complet inclus) ?
 - la vitesse de courant ?
 - la salinité de l'eau ?
- Avez-vous pu effectuer des mesures de salinité ou de sodicité sur le sol des parcelles ? Si oui, avez-vous des mesures de comparaisons avant l'épisode de submersion ou après celui-ci ? (ordres de grandeur, si connus)
- Le sol des parcelles a-t-il nécessité un nettoyage (enlèvement des boues et ou/débris) ? Si oui, pouvez-vous estimer un coût ou un temps de nettoyage ?
- Une opération de gypsage a-t-elle été effectuée afin de rétablir une salinité et une sodicité normale des sols ? Si oui, pouvez-vous décrire les actions mises en oeuvre (périodicité, coûts) ?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour remettre en état les parcelles (si elles ont été remises en état) ?

3.3 Dommages aux équipements

- La submersion marine a-t-elle endommagé des équipements sur les parcelles ?
 - le matériel d'irrigation
 - les pompes de drainage
 - les clôtures

- le palissage (s'il s'agit de vignes)
- autres
- Pour chaque type de dégât pré-cité, quels paramètres ont été déterminants sur les dommages générés (salinité, hauteur, vitesse) ?
 - matériel d'irrigation
 - pompes de drainage
 - clôtures
 - palissage (vignes)
 - autres
- La submersion marine a-t-elle endommagé des édifices de protection physiques contre les submersions marines ? (fossés, digues)
- Avez-vous constaté d'autres dégâts particuliers aux équipements liés à la salinité de l'eau ? Si oui, pouvez-vous les caractériser ?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour remettre en état les équipements ?

4. Dommages à l'élevage

4.1 Dommages sur le cheptel

- Y a-t-il eu de la mortalité en conséquence à l'événement ?
 - Si oui, à combien estimez-vous cette mortalité ?
 - Non
- Des frais vétérinaires supplémentaires ont-ils été engagés pour soigner les bêtes ?
 - Oui, à combien les estimez-vous ?
 - Non
- Le troupeau a-t-il été déplacé suite à la submersion marine (relocalisation du troupeau) ?
 - Si oui, cela a-t-il représenté un coût supplémentaire en termes de temps, de transport et d'investissement foncier (achat d'un nouveau pâturage ou d'un bâtiment) ?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour renouveler le cheptel ?

4.2 Dommages provoquant une contrainte en terme d'alimentation

- Une prairie touchée par une submersion marine sera-t-elle encore considérée comme pâturable, même pour une submersion de courte durée (effets de la salinité...) ? Si non, combien de temps faut-il pour qu'elle soit à nouveau pâturable ?
- En cas de prairies devenues non pâturables, que peut trouver l'éleveur comme solutions pour nourrir ses animaux ?
 - achat de fourrage à l'extérieur
 - déplacement sur d'autres prairies pâturables
 - achat de nouvelles prairies
 - rationnement des animaux pour acheter moins d'aliments supplémentaires
 - aliments de substitution : différent en termes de qualité ou de prix ?
- Les stocks de nourriture sur l'exploitation sont-ils généralement assez importants pour que ces pertes (fourrage ou prairie) n'aient pas d'influence l'année d'occurrence de la submersion ?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour retrouver l'équilibre dans l'apport alimentaire ?

4.3 Dommages altérant la production

- Un événement de submersion marine peut-il entraîner ou favoriser le développement de maladies chez les animaux? Dans quel contexte (animaux dans la prairie submergée, à proximité, évacuation tardive ou impossible...)?
- Les animaux peuvent-ils manifester un stress particulier après un événement de submersion marine ?
- Avez-vous pu constater des changements de fécondité ou de fertilité des animaux après un épisode de submersion marine ?
- Des baisses de productivité (en nombre de litres de lait, d'oeufs pondus...) ont-elles déjà été observées après des épisodes de submersion marine?
 - Si oui, pouvez-vous les estimer ?
 - Non
- Combien de temps cela a-t-il pris pour retrouver une production normale ?

4.4 Dommages aux équipements d'élevage

- Avez-vous constaté des dégâts particuliers sur les équipements, liés à la salinité de l'eau ? Si oui, lesquels ?
- Les clôtures des enclos ont-elles été endommagées par la submersion marine ?
- Les abreuvoirs et les circuits d'approvisionnement en eau dans les prairies peuvent-t-ils être endommagés ?
- Si les bâtiments où logent les animaux ne sont plus utilisables, ces derniers peuvent-ils rester dehors (selon la saison) ?
 - Peut-on envisager des solutions alternatives pour loger les animaux ?
 - Sinon, que fait l'éleveur ?
- Si les stocks de paille ont été submergés, l'éleveur peut-il utiliser une autre litière ? Peut-il trouver de la paille facilement ailleurs ?
- Selon le type d'élevage, si la machine à traire est endommagée, l'éleveur peut-il procéder autrement ?
 - Comment ?
 - Peut-il y avoir des conséquences pour les animaux ?
- Peut-on imaginer d'autres équipements dont l'indisponibilité entraîne des modifications de la conduite des animaux ?
- Combien de temps cela a-t-il pris pour remettre en état les équipements ?

Questions supplémentaires :

- Avez-vous des contacts de personnes ayant suivi l'événement, spécialistes d'autres cultures ou systèmes d'élevage par exemple ?
- Avez-vous des contacts d'agriculteurs ayant subi des conséquences importantes lors des événements remarquables ?
- Connaissez-vous des cas de faillite ou d'arrêt d'activité pouvant être reliés à l'occurrence d'une submersion ?
- Avez-vous des contacts d'agriculteurs subissant des submersions récurrentes ?

Annexe B

Comptes rendu des entretiens réalisés en 2011

- B.1 Entretien avec Julien Bernardeau, conseiller en grandes cultures (CA 17) et Jean Michel Hillaireau chercheur INRA à la ferme expérimentale de Saint Laurent de la Prée (17)

Julien BERNARDEAU, CA Charente-Maritime,

**et Jean-Michel HILLAIREAU, INRA
Saint-Laurent-de-la-Prée**

Spécialistes grandes cultures

27/09/2011

Suite à Xynthia, de nombreuses données ont été collectées sur le terrain et auprès des agriculteurs (taux de salinité, pertes, etc.). Les traitements et analyses de ces données sont en cours. Les informations fournies dans cet entretien sont plutôt basées sur des retours d'agriculteurs. Un stagiaire travaillera sur le traitement statistique des données l'année prochaine.

1. Xynthia

Lors de la tempête Xynthia, 12000 ha de grandes cultures ont été touchés par la submersion marine. L'assolement habituel est le suivant : blé (2/3 blé dur et 1/3 blé tendre) / maïs et un peu de tournesol (avec 50% céréales d'automne, 50% céréales de printemps). Au moment de l'inondation seuls les blés semés à l'automne étaient en place, et les autres parcelles étaient préparées en prévision des cultures de printemps. Les parcelles destinées aux cultures de printemps sont préparées à l'automne pour que le sol travaille sous l'effet des phénomènes de gel/dégel avant le semis au printemps.

Les durées de submersion ont été comprises entre 1 et 18 jours. Il est difficile de mettre en évidence un lien entre durée de submersion et salinité des sols. De grandes quantités de sédiments marins ont été déposées à l'arrière des digues (sur 500 m). Les hauteurs d'eau étaient comprises entre quelques centimètres et 1,50 m.

Plusieurs phénomènes d'inondation se sont produits : l'inondation directe à l'arrière des digues, l'inondation par remontée de l'eau salée dans les canaux et ruisseaux plus en arrière, et l'inondation par remontée dans les réseaux de drainage dans des parcelles éloignées. Selon l'éloignement par rapport aux digues, l'eau d'inondation était de moins en moins salée.

2. Dommages aux cultures

2.1. Pertes de rendement

Sur les terres à l'arrière des digues qui ont subi l'effet du courant, les cultures ont été arrachées ou recouvertes par les sédiments.

Les dégâts dépendent du stade de développement de la culture au moment de la submersion. Il y avait 2 stades de développement présents chez les blés, correspondants à 2 grandes périodes de semis : fin octobre avec des céréales au stade tallage au moment de la submersion relativement tolérantes à l'anoxie, et début décembre avec des céréales au stade 2-3 feuilles beaucoup plus sensibles et généralement détruites.

Au stade tallage, pour des durées de submersion inférieures à 10 jours, la culture a survécu. Au delà, la culture est repartie mais avec des résultats catastrophiques (1 seul maître brin au lieu de 3 talles). Toutes les céréales à 2-3 feuilles ont été détruites même quand l'eau est restée peu de temps.

Les dommages n'ont pas été observés juste après la décrue. Même pour les cultures au stade tallage, les plantes semblaient d'abord desséchées et au bout d'une semaine de nouvelles feuilles ont poussé. De plus il y a eu une période de sécheresse après l'inondation qui n'a pas favorisé la reprise des cultures.

Le blé tendre est plus résistant que le blé dur.

2.2. Poursuite des cultures

Quand la culture a survécu, les agriculteurs ont soit poursuivi la culture soit dans certains cas changé pour une autre. Les agriculteurs ont cherché à ne pas bouleverser l'assolement habituel. Pour les parcelles prévues en cultures d'automne les agriculteurs ont laissé en blé dur ou ressemé en blé dur ou semé en orge de printemps. Pour les parcelles prévues en cultures de printemps les agriculteurs ont semé du tournesol principalement, et très peu de maïs car c'est une culture très sensible à la salinité.

Les cultures semées après en semis direct ont donné des résultats satisfaisants alors qu'avec un désherbage mécanique cela a dégradé la structure du sol.

Lorsque les blés d'automne ont été récoltés (stade tallage) les rendements ont été de 10 à 45 qx/ha au lieu de 70 qx/ha habituellement. Quand il y a eu ressemis de blé, la date était très tardive et donc le potentiel de rendement très réduit. Certaines parcelles n'ont pas été récoltées (levée insuffisante). En orge de printemps, les rendements ont été entre 20 et 45 qx/ha au lieu de 55 à 80 qx/ha habituellement.

Il y a eu quelques essais de maïs mais ça n'a rien donné : les plantes ont grandi jusqu'à 3-4 feuilles puis sont mortes. Le tournesol a donné de bons résultats surtout lorsque le sol n'a pas été retravaillé (10 à 30 qx/ha au lieu de 25-30 qx/ha, donc rendement presque normal). Les levées ont dépendu du

type de semoir et du contact sol-graine (les semoirs avec système de rattachement ont donné de meilleurs résultats).

Quelques parcelles n'ont pas été semées ou ressemées, mais plus par choix de l'agriculteur que pour des raisons techniques (problème de trésorerie et incertitude sur les gains).

2.3. Résumé des dommages

Voici un résumé des dommages aux grandes cultures sous forme de tableau :

Culture inondée		Surface inondée	Devenir des parcelles	Récolte
Blé tendre et blé dur	Semis octobre (stade tallage)	15 %	Tout laissé en place	Seulement 6 % récoltés avec rendement de 10-20 qx/ha
	Semis novembre (stade 2-3 feuilles)	30 %	5% laissé en place	Non récolté
	25 % semé en orge de printemps		12% récolté avec rendement de 5-25 qx/ha.	
Parcelles préparées pour cultures de printemps		55 %	12 % semé en orge de printemps	
			30 % semé en tournesol	8 % récolté avec rendement de 8-25 qx/ha
			Mais	Pas de survie après stade 4 feuilles

2.4. Dommages sur la saison suivante

Globalement les rendements ne sont pas encore revenus à la normale mais il est difficile d'estimer la part liée à la sodicité car il y a aussi un effet sécheresse. Avec le tournesol les rendements ont été normaux ou presque (la levée a parfois été hétérogène mais il y a aussi un effet de la sécheresse).

Quelques agriculteurs ont semé du maïs cette année, la levée a été meilleure mais avec l'effet de la sécheresse, les racines sont descendues plus en profondeur et ont atteint le sel dans le sol. Les rendements ont donc été limités.

3. Dommages au sol

Après l'inondation, les conseils avaient plutôt été de vider l'eau des parcelles en remettant en route les systèmes de drainage mais il s'est avéré qu'il aurait mieux valu l'évacuer par la surface car cela a parfois entraîné la salinité en profondeur dans le sol où elle est restée sans être lessivée rapidement.

Pour éliminer la sodicité un gypsage a été conseillé dès la 1ère année (conseil d'épandage de 8-12 t/ha mais répété les 2 années suivantes si nécessaire). Le gypsage a joué son rôle mais pas complètement car il y a eu très peu de pluie cet automne.

Les agriculteurs n'ont pas forcément effectué un second gypsage cet année sur les parcelles déjà gypsées l'année dernière, ils attendent des pluies pour que le gypse encore là joue son rôle. Si la pluviométrie est normale cet automne (2011), les rendements devraient revenir à la normale ensuite. Sur les parcelles non gypsées en 2010, les cultures n'ont rien donné.

La hauteur d'eau a eu un effet sur le tassement des sols. Lorsqu'il y a eu plus d'eau, l'eau s'est moins infiltrée car le sol s'est tassé et la salinité a donc moins pénétré dans le sol en profondeur.

4. Remise en état

Après la submersion, il n'y avait quasiment plus de frais à engager donc il n'y a pas eu de modification des itinéraires culturaux. Un peu d'azote a été apporté dans certains cas. Sur les cultures, aucun traitement supplémentaire n'a été réalisé. Au contraire dans l'incertitude des rendements qui seraient obtenus, les agriculteurs ont engagé le moins de charges possibles.

Lorsqu'il y a eu dépôt de sédiments, ils ont été mélangés avec le sol lors du travail du sol.

Il y a eu beaucoup de déchets apportés par la mer, surtout des déchets végétaux qui se sont amassés sur le bord des fossés, des clôtures, etc. Le nettoyage a été fait avec des tracteurs équipés de fourche.

Le curage des fossés et des canaux peut coûter entre 0,90 et 2 €/ml selon le niveau d'envasement. Sur les sections du réseau syndical, ce n'est pas les agriculteurs qui paient les travaux. Les travaux sont réalisés par des entreprises.

Les pompes des réseaux de drainage ont été grillées par l'eau salée et ont dues être remplacées. Il n'y a pas eu de dégât sur les systèmes de drainage.

5. Dommages aux prairies

Le suivi sur les prairies a été moins détaillé que pour les grandes cultures.

Globalement, les vieilles luzernes (plus de 2-3 ans) ont plutôt bien résisté avec pas de perte en nombre de pieds mais une production de biomasse et de graines diminuée. Les jeunes luzernes (année de semis) ont souffert, il a fallu réaliser un sur-semis ou implanter une céréale en remplacement.

B.2 Entretien avec Jérôme Poulard, spécialiste viticulture et pomme de terre à la coopérative UniRé (17) et Thierry Massias (CA 17)

Jérôme POULARD, Coopérative UniRé, et Thierry MASSIAS, conseiller maraîchage – CA 17

Spécialistes viticulture et maraîchage (pommes de terre)

15/11/2011

1. Cultures touchées par Xynthia sur l'Île de Ré

Au total, 307 ha de cultures ont été inondés, dont :

- 145 ha de vignes ;
- 128 ha de céréales (blé ou orge en rotation avec la pomme de terre) ;
- 33 ha de pommes de terre dont 15 ha déjà plantés et le reste prêt à être planté ;
- 1 ha de maraîchage.

En tout, 42 agriculteurs sont concernés mais ils ont été touchés de manière très inégale : 3 viticulteurs ont perdu plus de 75% de leurs vignes et 1 a abandonné, 1 exploitant de pommes de terre a eu 10 ha à lui seul inondés.

Du matériel et des stocks ont également été touchés.

Les inondations ont pu durer de 3 jours à 2 semaines. Les hauteurs d'eau ont pu aller de quelques centimètres à plus d'1 mètre. La salinité a pu se propager par capillarité dans des zones non directement inondées.

Le temps après Xynthia n'a pas été favorable au redémarrage des cultures car il n'a pas plu du tout.

Le problème principal pour les agriculteurs a été le choc moral causé par l'inondation. Souvent ils avaient également les dégâts sur leur habitation à gérer en parallèle. De plus, les indemnités ont été connues très tard ce qui a renforcé l'inquiétude des exploitants.

2. Remise en état des parcelles

2.1. Traitement de la salinité

Un suivi de la salinité a été réalisé. Des analyses de salinité ont été faites à 3 dates, en plusieurs points de l'île et pour 2 horizons de sol à chaque fois (0-30 cm et 30-60 cm en vignes et 0-15 cm et 15-30 cm en pommes de terre). Généralement ce qui a été constaté dans les premiers mois après la submersion est le lessivage de la salinité du 1^{er} horizon vers le 2^{ème} et donc vers les racines des plantes. Il n'a pas été possible de mettre en évidence une corrélation entre durée de submersion et salinité du sol sur la base des analyses et des observations.

Les sols de l'île de Ré sont plutôt sableux. La problématique de la sodicité des sols ne s'est donc pas posée. La recherche de solution s'est plutôt concentrée sur la salinité. De toute façon, le gypsage n'est pas envisageable sur sols sableux et calcaire et encore moins en vigne. Il a été conseillé l'aération des sols dès que possible et l'apport de matière organique (matière organique sous forme de déchets ligneux par exemple) car les sols s'étaient tassés et avaient perdu leur activité biologique du fait de la salinité de l'eau de submersion). L'épandage de matière organique coûte environ 150 €/ha.

Certains agriculteurs ont semé une culture de sorgho fourrager sur les parcelles de pommes de terre inondées pour accélérer l'aération du sol et le lessivage du sel. Le sorgho n'a pas toujours levé du fait du manque d'eau (pas de pluie après l'inondation).

Certaines parcelles à proximité des marais salants ont eu des salinité encore plus élevées que les autres du fait de la dilution des stocks de sel dans l'eau de submersion.

Un bilan est prévu l'année prochaine pour faire le point sur la structure des sols inondés. Ce bilan sera fait en se basant sur la méthode Hérody qui prévoit l'interprétation de profils et de prélèvements pour évaluer la structure du sol, la vie microbienne, la caractérisation de la matière organique.

2.2. Nettoyage des parcelles

Le nettoyage des vignes a été une opération très lourde. 300 personnes ont participé bénévolement pendant tout un après-midi pour nettoyer 100 ha de vignes. Les déchets présents étaient principalement des débris végétaux. Il n'y a pas eu de gros encombrants. Dans les vignes, les rangs sont assez espacés ce qui a permis d'évacuer facilement les déchets lorsque cela était nécessaire.

Il y a peut-être eu des problèmes de pollution par des hydrocarbures ou des produits phytosanitaires mais ils n'ont pas été détectés spécifiquement car les problèmes de salinité ont pu les occulter.

3. Dommages sur les vignes

Concernant la vigne les proportions sont à peu près les suivantes : 50 ha ont été détruits entièrement, 50 ha ont été partiellement endommagés, et 50 ha ont conservés une récolte normale.

Les portes-greffes et les cépages sont plus ou moins sensibles à la submersion (salinité et inondation).

Lorsque la vigne avait été taillée juste avant la submersion, elle a été plus sensible.

Après Xynthia, les vignes touchées ont débouffées normalement pour la plupart mais les dommages ont été visibles après car les pousses ont séché petit à petit jusqu'en juillet parfois. Dans d'autres conditions (terres lourdes), les exploitants ont rapidement vu que la vigne ne repartait pas.

Les vignes mortes ont été replantées pour une partie (20 ha en 2011), pour les parcelles en pommes de terre les agriculteurs ont mis des céréales en attendant. Souvent les exploitants possèdent d'autres parcelles en vignes ou avec d'autres cultures et donc la replantation n'est pas toujours une priorité.

Lorsque la vigne est repartie, les rendements ont été corrects, contrairement aux craintes des exploitants. Tout le raisin inondé avait été vinifié à part mais le vin produit a finalement été correct, avec toutefois un degré légèrement inférieur. La vendange a été décalée car les raisins avaient un retard de maturité.

Du fait de la salinité, les pertes au sein des parcelles ont été très hétérogènes. Au delà de 30% de pieds manquants, la parcelle entière sera replantée.

Les charges ne varient pas lorsque les pertes sont dispersées dans une parcelle, sauf pour la main d'œuvre. Les charges de main d'œuvre diminuent proportionnellement au rendement.

4. Dommages sur les pommes de terre

Le cycle des pommes de terre primeur de l'île de Ré est le suivant :

- plantation entre fin janvier pour les plus précoces à mi avril pour les plus tardives ;
- récolte du 20 avril à mi juin.

Dans la plupart des parcelles inondées, la salinité est restée en dessous du seuil de toxicité pour les pommes de terre.

Lorsque les pommes de terre étaient déjà plantées, tout a été perdu et la culture n'a pas été poursuivie.

Dans les parcelles qui n'avaient pas encore été plantées, les pommes de terre n'ont pas pu être plantées en 2010. Une détérioration de la structure physique du sol était visible et a nécessité un travail du sol et l'apport de matière organique. En 2011, ces parcelles ont pu être plantées lorsque les travaux avaient été réalisés. Certains exploitants n'ont pas réalisé les opérations de remise en état du sol la 1ère année ou les ont faites tardivement car ils disposaient d'autres parcelles. Ces parcelles là n'ont pas pu être replantées en 2011 car la salinité y était encore trop élevée et la structure du sol trop dégradée.

Un agriculteur a planté des pommes de terre vers fin avril, les rendements obtenus ont été faibles.

Des problèmes se sont également posés pour l'irrigation des parcelles. L'irrigation est absolument nécessaire pour obtenir de bons rendements (si pas d'irrigation 7-8 tonnes contre 18-20 tonnes

normalement). Parfois, l'eau des puits était saumâtre et donc inutilisable, il a alors fallu apporter des citernes.

Certains agriculteurs ont préféré détruire leur culture de céréales en parcelle non inondée pour la remplacer par de la pomme de terre qui était prévue sur des parcelles inondées.

5. Dommages sur la maraîchage

Principalement 1 agriculteur a été touché. Il possédait 2 tunnels plus des cultures plein champs. Après l'inondation, il a provoqué le lessivage de la salinité en arrosant (2 fois 50 mm). En 2010, les cultures plantées ont poussé (tomates, aubergines, poivron) mais avec des symptômes inhabituels (décoloration des feuilles, problème d'assimilation de l'eau, etc.).

6. Dommages sur les céréales

Le blé est reparti sur une des exploitations touchées. La levée a été très hétérogène à l'hiver 2010 pour les parcelles semées.

Les cultures de céréales ne représente pas un enjeu financier important pour les agriculteurs mais ont avant tout un but de rotation avec la pomme de terre pour éviter le développement de champignons.

Les charges engagées sont faibles : pas d'engrais de fonds, un peu d'engrais minérale et un herbicide.

7. Dommages aux bâtiments, aux stocks et au matériel

Les bâtiments ont dû être nettoyés. Dans certains cas les installations électriques ont dues être refaites.

Les stocks ont pu être déplacés ou détruits par l'inondation. Généralement quand des produits phytosanitaires ont été mouillés, ils étaient inutilisables car compactés.

Dans les bâtiments, le petit matériel a pu être endommagé. Les machines agricoles touchées ont soit dues être remplacées, soit subir des réparations selon la hauteur d'eau qu'il y a eu.

B.3 Entretien avec Thierry Rattier, conseiller grandes cultures (CA 17)

Thierry RATTIER, CA Vendée

Conseiller grandes cultures

27/09/2011

1. Événements d'inondation

1.1. Tempête de 1999

En 1999, certaines parcelles avaient été submergées lors de la tempête. La zone submergée était relativement restreinte. L'eau est restée 3-4 jours dans les hautes terres, 8 jours dans les terres basses. Les agriculteurs ont craint des effets sur le sol, mais l'eau étant plutôt saumâtre ou douce il n'y en a pas eu d'importants. Les dégâts sur les cultures (blé dur principalement) ont été faibles, les parcelles ont pu être récoltées. Il y a eu un gypage massif avec un retour à l'équilibre des sols relativement rapide.

1.2. Xynthia

En février 2010, Xynthia a entraîné la submersion d'environ 10 000 ha de grandes cultures dans les marais poitevin et breton. Dans le marais poitevin les surfaces submergées étaient principalement des grandes cultures avec majoritairement du blé (blé dur essentiellement et un peu de blé tendre) et des parcelles préparées pour les cultures de printemps, et quelques surfaces en herbe. Le premier travail de la chambre a été de faire un état des lieux des surfaces inondées avec les agriculteurs du secteur (cartographie), des analyses de la salinité de l'eau d'inondation ont ensuite été menées, puis une cartographie des durées de submersion a été réalisée.

Il y a eu peu de prairies touchées car elles sont situées plus au nord. Dans les prairies anciennes la végétation est repartie, dans les prairies neuves, des pertes ont été observées (pertes totales).

Les eaux étaient relativement salées par rapport à 1999, avec des taux de 30 à 70% de la salinité marine. L'eau est restée de 2-3 jours à 3 semaines. Il y a eu peu de courant en dehors des zones à l'arrière des digues. Il y a eu jusqu'à 3 mètres d'eau.

L'inondation a eu lieu en 3 temps : une submersion directe par dessus les digues ou par formation de brèches, une submersion liée à la marée haute, des inondations par diffusion de l'eau salée via les canaux (à l'origine d'inondation de parcelles plus éloignées et parfois déconnectées des autres).

2. Dommages de Xynthia

2.1. Dommages aux cultures

2.1.1. Pertes de rendement

Dans les zones où l'eau d'inondation avait une salinité supérieure à 50‰ de l'eau marine, il y a eu perte totale des cultures. Ailleurs, le seuil de survie des cultures était autour de 2-3 jours. Toutefois cela reste difficile à estimer car les zones submergées moins longtemps sont aussi les zones submergées avec de l'eau moins salée. Aucun effet hauteur d'eau n'a été observé. Dans les quelques zones inondées avec du courant, tout a été arraché. Quand la culture est repartie, les pertes de rendement ont été de presque 50 % (30-40 qx au lieu de 70 qx/ha). Le blé dur est plus sensible que le blé tendre aux inondations et à la salinité.

Les pertes ont généralement été observées dès le retrait des eaux mais dans certaines zones on a pensé que les cultures allaient repartir pendant quelques jours / 1 semaine avant de constater la mort des plantes (demande climatique forte car temps sec).

2.1.2. Poursuite des cultures

Après la submersion, les agriculteurs ont parfois semé de l'orge de printemps sur les parcelles destinées aux cultures d'hiver. Il y a pu avoir quelques récoltes d'orge mais les rendements étaient faibles. Les parcelles non ressemées ou celles destinées aux cultures de printemps ont soit été laissées nues soit plantées en tournesol. Il n'a pas été possible de semer du maïs car c'est une culture très sensible à la salinité. Le tournesol a relativement bien fonctionné et a permis d'améliorer le drainage des sols.

2.2. Dommages au sol

Avant l'inondation, l'hiver avait été froid et les argiles avaient donc beaucoup travaillé en se fissurant (ce qui est habituellement souhaité). Quand l'eau est arrivée, elle s'est facilement infiltrée dans la macroporosité favorisant la fixation de la salinité dans le sol. S'il y avait eu des pluies juste après l'inondation il y aurait eu lessivage du sel.

Par substitution des ions calcium par des ions sodium apportés par l'eau de mer, le sol a changé de composition (sodicité). La structure du sol devient alors instable (déstructuration des feuillets argileux). Il faut alors apporter du gypse pour retrouver la structure initiale du sol.

Un gypsage des terres inondées a été réalisé à l'automne 2010. Toutefois, une pluviométrie importante est nécessaire pour l'action du gypse et l'hiver 2010-2011 a été relativement sec. Les sols n'ont donc pas entièrement retrouvé des structures stables dès la 1^{ère} année. Du gypse est à nouveau apporter cette année (automne 2011).

La dégradation du sol est variable selon les horizons.

Gypse = 45€/tonne épandue. Pour l'épandage, des entreprises sont intervenues car le matériel nécessaire est spécifique. Le gypsage est normalement étalé sur 3 ans (avec retour à un état proche de l'état initial à la fin).

2.3. Dommages sur la saison suivante

Les impacts sur la saison suivante (semis d'automne 2010) ont fortement dépendu de la nature du sol et du développement d'une sodicité plus ou moins importante.

La plupart des terres ont tout de même étaient remises en culture. Il n'y a pas encore eu de maïs ressemé. Les récoltes ont été plus ou moins bonnes selon l'état initial (avant inondation) des parcelles (si la structure était très stable, les sols récupèrent plus rapidement) et du travail du sol qui a été effectué (il faut éviter le tassement pour favoriser le drainage des ions sodium).

En tournesol, le potentiel est récupéré. En cultures d'hiver pas encore complètement (60% du potentiel récupéré pour la saison 2010-2011).

2.4. Remise en état

Avant la réimplantation des cultures, il a fallu réaliser un travail du sol supplémentaire pour aérer le sol et le niveler. Sinon il n'y a pas eu de charge supplémentaire dans l'itinéraire. La vie biologique du sol a été très touchée mais pas d'opération spécifique effectuée.

Des travaux importants ont du être faits pour remettre en état les bordures de canaux/fossés et à proximité des digues. Les coûts sont supportés par les syndicats mixtes pour les canaux principaux. Ces travaux n'ont pas retardé la remise en culture en avril 2010 car ils ont pu être réalisés relativement rapidement.

Les déchets apportés étaient surtout des débris végétaux ils ont donc pu être nettoyés mécaniquement.

B.4 Entretien avec Sébastien Bessonnet, conseiller élevage (CA 85)

Sébastien BESSONNET, CA Charente-Maritime

Conseiller élevage

27/09/2011

1. Conséquences de Xynthia

Lors des inondations liées à Xynthia, 40 000 ha ont été touchés, et environ 360 élevages mais très inégalement.

Concernant l'élevage, ce sont les prairies naturelles qui représentent le plus de surfaces inondées, puis du maïs ensilage et de la luzerne. Quelques prairies artificielles ont également été inondées.

Il y a eu quelques sièges d'exploitation touchés avec dans certains cas des morts d'animaux.

Selon les zones, l'eau a pu rentrer et repartir rapidement ou stagner longtemps.

2. Dommages sur les cultures

Luzerne

Les parcelles de luzerne ont été fortement endommagées par l'inondation. Généralement, la production de l'année a été perdue et pour les parcelles inondées au delà d'une certaine durée, la luzernière a été perdue et a dû être ressemée (quelque soit la hauteur d'eau).

Pour des inondations d'eau douce, la durée seuil de perte de la luzernière est d'environ 8-10 jours. Elle est plus courte avec de l'eau salée ou saumâtre.

D'autres paramètres influent sur les pertes car dans certaines zones l'eau est restée relativement longtemps mais la luzernière est repartie, alors que dans d'autres l'eau est restée moins longtemps mais la luzernière a été perdue.

Prairies naturelles

La production de l'année a été perdue dans la plupart des cas mais les prairies sont reparties l'année suivante.

Dans l'ensemble les légumineuses résistent moins bien. Les trèfles dans les prairies ont subi une forte mortalité. La composition de la flore des prairies a donc pu être modifiée mais pas d'élément précis sur ça.

Maïs ensilage

Le maïs n'était pas encore semé. Lorsqu'il a été planté après, le maïs a débourré puis une fois ses réserves terminées, les racines ont puisé de l'eau salée dans les sols et les plantes ont dépéri.

Autres conséquences

Il est difficile d'estimer si les conséquences sur la production ont été sur une seule année car l'année 2011 a aussi été atypique (sécheresse).

Le nettoyage des prairies a représenté un travail important : beaucoup de déchets végétaux, de ferrailles, etc. Généralement, un passage mécanisé a pu être fait puis les agriculteurs ont du passer manuellement pour enlever ce qu'il restait.

Les clôtures ont également pu être endommagées . La réfection des clôtures peut prendre beaucoup de temps et donc coûter cher.

Il n'y a pas eu de ravinement. Il y a par contre eu dépôt de boue et de vase à l'arrière des digues.

3. Conséquences sur les élevages

Le principal problème pour les éleveurs suite à Xynthia a été l'abreuvement des animaux car les abreuvoirs naturels habituellement utilisés avaient été contaminés par l'eau salée. L'alimentation des animaux a aussi nécessité des modifications des modes de conduite habituels. Enfin dans certains cas, il y a pu avoir des conséquences sur les animaux eux-mêmes : morts, blessures, stress, etc.

M. BESSONNET n'a pas d'éléments précis sur les autres potentiels impacts en terme de gestion des troupeaux. Il n'a pas connaissance de bâtiment inondé avec des équipements spécifiques touchés.

3.1. Abreuvement des animaux

Les abreuvoirs dans les prairies sont des trous d'eau qui se remplissent via une nappe affleurante ou avec les eaux de pluie. Ils ont été remplis d'eau saumâtre lors de la submersion. Comme il n'a pas plu ensuite, le problème a duré pendant tout l'été.

Lorsque les éleveurs en avaient la possibilité, ils ont vidé les abreuvoirs avec des pompes et les ont rereplis un peu. Mais cela a été compliqué car les abreuvoirs n'étaient pas toujours accessibles avec du gros matériel. Sinon les abreuvoirs ont été pompés vers les canaux voisins et les agriculteurs ont attendu les pluies de l'année suivante.

Lorsque il n'y avait pas d'abreuvoir d'eau douce, les prairies n'ont pas pu être utilisées en 2010.

3.2. Alimentation des animaux

Dans les élevages qui n'étaient pas basés uniquement sur l'herbe, les éleveurs ont apporté plus de fourrage que les autres années pour compléter les prairies moins productives.

Quand il s'agissait d'élevages basés uniquement sur l'herbe, les éleveurs ont quand même mis les animaux dans les prairies en tentant d'arranger les parcs sur les zones les moins touchées. Lorsque cela était possible, ils se sont arrangés avec d'autres éleveurs qui avaient des prairies libres ou ont pu utiliser les prés communaux.

2010 a été une année fourragère difficile partout en France. La pression sur le marché était donc forte. Le fourrage a donc dû être importé de bien plus loin. Des solutions alternatives ont également été mises en œuvre (fauchage de l'herbe de la base aérienne, entraide, etc.).

Cette année, les éleveurs ont encore dû racheter un peu de tout (foin, ensilage, pulpe de betterave) pour compléter l'alimentation de leurs troupeaux.

Les stocks de foin ont parfois été inondés. Même s'il y a eu juste un peu d'eau en bas, l'eau est remontée par capillarité et généralement le stock s'est remis à chauffer et a donc été perdu.

3.3. Conséquences sur les animaux

Quelques sièges d'exploitation ont été inondés mais assez peu.

Il y a eu des pertes d'animaux (vaches, ovins) dans les bâtiments, et quelques morts d'animaux aux champs (chevaux, moutons).

Il n'a pas été possible d'organiser une évacuation des animaux longtemps à l'avance car l'eau est arrivée en 12h jusqu'à 30 km dans les terres.

Pour les moutons, la hauteur d'eau est le principal paramètre pouvant causer la mort. Mais le courant et l'affolement sont aussi des paramètres dangereux. Il est difficile d'expliquer les morts car il y avait des conditions variées.

Les animaux morts ou blessés sont saisis et ne peuvent pas être vendus pour leur viande. Pour être vendu, l'animal doit pouvoir se déplacer.

Les éleveurs n'ont pas racheté d'animaux tout de suite car leur 1^{er} soucis était de nourrir les animaux vivants.

Il y a également pu y avoir des conséquences sur les animaux à long terme. Le stress entraîne des baisses de production (lait, baisse de fertilité, ralentissement de croissance). Mais il est difficile d'estimer ces pertes. Les chèvres sont très sujettes au stress. Il peut y avoir des explosions de problèmes sanitaires après un fort stress. De plus l'élevage fonctionne en cycle, donc si il y a un problème une année, c'est toute l'année qui est perdue.

L'humidité ne pose pas de problème sanitaire.

Les animaux dosent leur apports en sodium. Donc en mangeant de l'herbe trop salée, s'ils ont du fourrage à côté, ils se réguleront. S'ils n'ont pas de fourrage de substitution ils mangeront trop salé et peuvent avoir des problèmes digestifs.

Localisation des troupeaux

En règle générale, en début de pâturage, les animaux sont proche des bâtiments et sur les terrains haut (15 mars – avril), en mai ils sont sur les terrains bas et éloignés.

Annexe C

Documents techniques

C.1 Documents fournis par les Chambres d'Agriculture

C.1.1 Rapport de Julien Bernardeau CA17 (2012)

Bilan 2012

« Acquisition de références sur les sols ennoyés lors de la tempête Xynthia »



**aGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
CHARENTE-MARITIME

Entreprise certifiée
ISO 9001



Document réalisé par Julien BERNARDEAU
Conseiller en Agronomie et Agrobiologie

Sommaire

I – Description de l’action	p. 02
1.1 - Contexte, objectifs économiques et stratégiques	p. 02
1.2 – Etat des connaissances.....	p. 02
1.3 – Protocole expérimental – méthodologie	p. 03
1.4 – Calendrier de réalisation	p. 04
II – Valorisation et diffusion des résultats	P. 04
III – Résultats et analyses	p. 05
3.1 – Evolution de la salinité des sols et choix de cultures	p. 05
3.2 – Evolution de la sodicité et de l’état structural des sols	p. 08
3.3 – Observation profils de sol.....	p. 11
3.4 – Enquêtes et suivi de terrain.....	p. 13
IV – Conclusion	p. 13

I. Description de l'action

1.1 - Contexte, objectifs économiques et stratégiques

La tempête du 28 février 2010 a provoqué un raz de marée qui a submergé les marais côtiers, s'enfonçant plus ou moins loin dans les terres. Ce ne sont pas moins de 23 000 ha dont 11 000 ha de terres destinées aux grandes cultures qui ont été touchés par ce raz de marée avec des temps de submersion plus ou moins importants (de 2 à plus de 15 jours).

L'ennoisement de ces terres, suite à la tempête, a provoqué des asphyxies et destructions de cultures liées à la salinité. Cette submersion à l'eau salée engendre également, à moyen terme, une dégradation des sols (dispersion des argiles) rendant la culture aléatoire pendant plusieurs années.

Ainsi, près de 1000 exploitations dont 800 en grandes cultures et polyculture élevage ont été touchées dont certaines ont vu leur survie mise en jeu. C'est aussi un des principaux bassins de production de blé dur et de maïs grain du département qui fut sinistré avec toutes les répercussions que cela implique sur l'ensemble de la filière. Les surfaces concernées pouvant représenter jusqu'à environ 50 % des volumes collectés par certains opérateurs.

Dans ce contexte, il était donc nécessaire de tout mettre en œuvre en vue de retrouver des niveaux de production acceptables et ceci, le plus rapidement possible. Objectif qui devait permettre de renforcer économiquement des structures agricoles fragiles et de redonner un souffle nouveau à toute une filière.

Pour répondre à ces attentes, il était impératif de retrouver au plus vite une stabilité structurale satisfaisante, garantie de niveaux de productions acceptables. Aussi, après deux années sèches consécutives qui n'ont pas permis d'évacuer correctement le sodium, tous les efforts devaient être maintenus.

L'objectif de l'étude est donc de continuer à caractériser le comportement des sols inondés par l'eau de mer, l'évolution de leur fertilité et de mettre en avant les facteurs ayant influé sur les niveaux de salinité et sodicité. Ceci dans le but de délivrer un conseil agronomique et cultural pertinent, adapté à chaque situation.

1.2 - Etat des connaissances

Le travail du sol en terre de marais ainsi que la conduite des cultures dans ce milieu fragile, demande des connaissances bien spécifiques. L'INRA de Saint Laurent de La Prée, unité spécialisée dans le développement des zones de marais depuis plus de quarante ans dont les connaissances et compétences sont reconnues de tous, a été associé dès le départ à l'élaboration du protocole de suivi.

Nous avons donc pu acquérir rapidement de nombreuses données de salinité et sodicité, suivre leur évolution dans le temps et ainsi dégager un certain nombre de constats et scénarios. L'ensemble de ces résultats est consultable dans les dossiers « Bilan 2010 » et « Bilan 2011 » réalisés dans le cadre de cette même étude dans la mesure où nous sommes en année 3 du programme.

L'acquisition et le traitement de ces données, couplés aux connaissances du marais, nous ont permis d'orienter rapidement les producteurs vers :

- Un choix de cultures adaptées,
- La détermination d'un calendrier d'apport et de quantités de gypses en lien avec l'état structural des parcelles.

L'ensemble de ces conseils et l'accompagnement réalisés par nos services auprès des agriculteurs sinistrés ; notamment en terme de choix d'espèce, travail du sol et doses de gypse ; ont contribué à atteindre en 2011 des niveaux de rendements acceptables malgré des structures encore fragiles.

C'est à ce titre que nous avons maintenu le suivi des sites de références en 2012 afin de compléter nos références, affiner nos connaissances et déterminer les quantités adaptées de gypse pour enfin retrouver ou s'approcher des niveaux de productions habituels.

1.3 - Protocole expérimental – méthodologie

Répondre à l'ensemble de ces questions nécessitait de mettre en place un réseau de parcelles d'observations (sites de références) avec un échantillonnage représentatif des différentes situations et de réaliser sur ce dispositif un certain nombre de mesures dont : évolution du taux de salinité et sodicité, évolution des cultures, évaluation des rendements ...

Cela fait donc trois ans que le réseau fait l'objet d'un suivi approfondi ; représentant près de 1000 prélèvements et résultats d'analyses.

L'observation sur les grandes cultures et sur les cultures maraîchères ont été privilégiées dans la mesure où ce sont les seules parcelles qui peuvent bénéficier d'un gypsage. Sur l'île de Ré, du fait de la nature moins argileuse des sols, l'apport de matière organique est souvent préféré.

Les différents types d'analyses :

	Objectif	Echantillonnage et prélèvements	Méthode de prélèvement	Méthode de laboratoire	Mise en œuvre
Mesures de salinité de la solution du sol Code : SO-CONDTEMP	Orienter le choix des cultures au printemps en fonction de leur tolérance à la salinité	Sur les sites de références sensibles (10) dans les zones de prélèvements initialement géo-localisées	<u>3 horizons</u> : 00-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm 3 prélèvements représentatifs par parcelle à mélanger de façon homogène	Mesure de conductivité	Délai : 1 semaine Coût : 10 à 12 € par horizon (LCA)
Evaluation de la sodicité des sols Code : SO-TEMPETE	Ces mesures permettent de classer les sols des parcelles mesurées selon leur stabilité structurale et de déterminer les quantités de gypse appropriées	Sur l'ensemble des sites de références (23) dans les zones de prélèvements initialement géo-localisées	<u>3 horizons</u> : 00-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm 3 prélèvements représentatifs par parcelle à mélanger de façon homogène	Na ⁺ échangeable, CEC, CaCo ₃	Délai : 3 semaines Coût : environ 20 €/ horizon (LCA)

Dans le cadre du suivi pluriannuel, ce sont les analyses de sodicité avec mesure de la conductivité qui sont privilégiées.

En parallèle de ces résultats d'analyses, des observations de profils pédologiques ont été réalisées afin d'établir le lien entre les mesures de laboratoire et leur traduction sur le terrain par des observations visuelles de la structure du sol.

Enfin, une enquête sur les pratiques culturales était nécessaire afin de recueillir l'ensemble des interventions mises en place à la parcelle depuis leur submersion que ce soit du mode de submersion, d'évacuation de l'eau, des interventions mécaniques, du gypse (ou matière organique) ou bien même du résultat des cultures implantées.

L'analyse croisée de tous ces éléments devra nous permettre de faire le lien entre les pratiques et le comportement des parcelles. De plus, des témoins 0 gypse ont été mis en place sur certaines parcelles afin d'acquérir de nouvelles références sur cette pratique dans ce contexte bien particulier de submersion marine.

1.4 - Calendrier de réalisation

- Décembre 2011 (Ile de Ré) : initialement prévus en début d'année 2012, des prélèvements de sol ont été réalisés pour vérifier la salinité des sols après les pluies d'automne et les éventuels apports de matière organique en vue des premières plantations de l'année.
- Février 2012 : réalisation d'analyses de sodicité sur les sites de références afin d'orienter les agriculteurs sur le choix des cultures au printemps. L'objectif prioritaire étant de déterminer si oui ou non, le maïs peut retrouver sa place dans les assolements.

Enfin, ces résultats permettront de mesurer l'évolution structurale des sols et de donner des éléments de réponse sur les effets des éventuels apports de gypse ou matières organiques.

- Avril – Mai 2012 : réalisation de profils de sol. Observation de l'état structural et impact du travail du sol.
- Mai – juin 2012 : finalisation des enquêtes culturales et traitement des données en lien avec les résultats d'analyses afin de déterminer clairement les facteurs ayant influés sur l'évolution favorable plus ou moins rapide des sols et de les hiérarchiser.
- Juillet – Aout 2012 : campagne de gypsage
- Printemps 2013 : campagne d'analyses de sodicité sur quelques sites de références afin de mesurer l'influence des derniers apports de gypse et de confirmer ou non le retour à la normale.

II – VALORISATION ET DIFFUSION DES RESULTATS

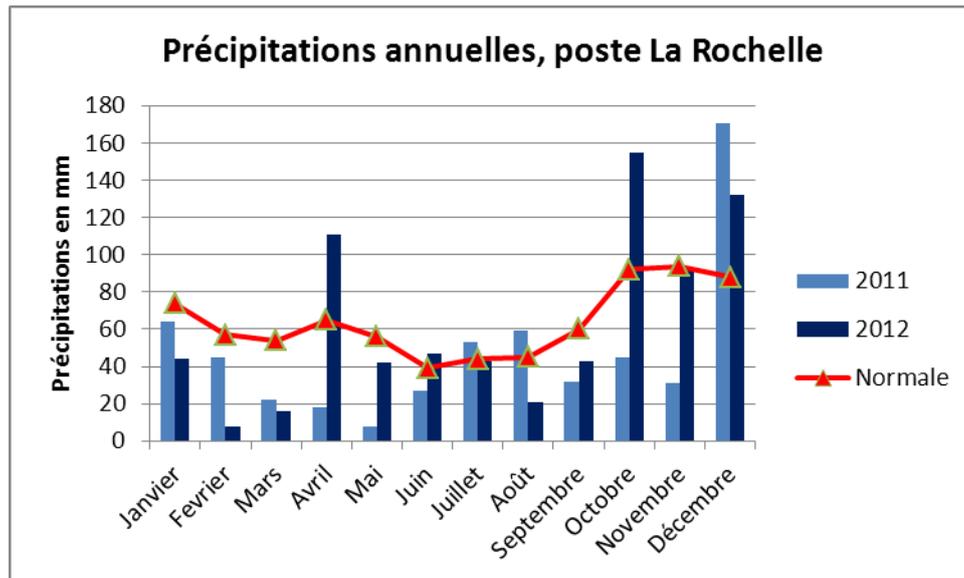
L'ensemble des résultats et avancées au niveau des connaissances ainsi que nos conseils sont communiqués auprès des agriculteurs sinistrés et à l'ensemble des acteurs de la filière afin de retrouver au plus vite la stabilité et les niveaux de productions antérieurs.

Un flash technique grandes cultures a été rédigé ainsi qu'un bilan annuel. Pour 2012, un mémoire de fin d'étude a également été rédigé par un élève ingénieur lors de son stage à l'INRA de Saint Laurent de la Prée en partenariat avec la Chambre d'agriculture de Charente-Maritime.

Notons également que des articles sont régulièrement rédigés et diffusés dans les revues scientifiques de l'Inra ainsi que sur leur site Internet. Toutes ces communications sont également consultables sur le site Internet de la Chambre d'agriculture de Charente-Maritime.

III – RESULTATS ET ANALYSES

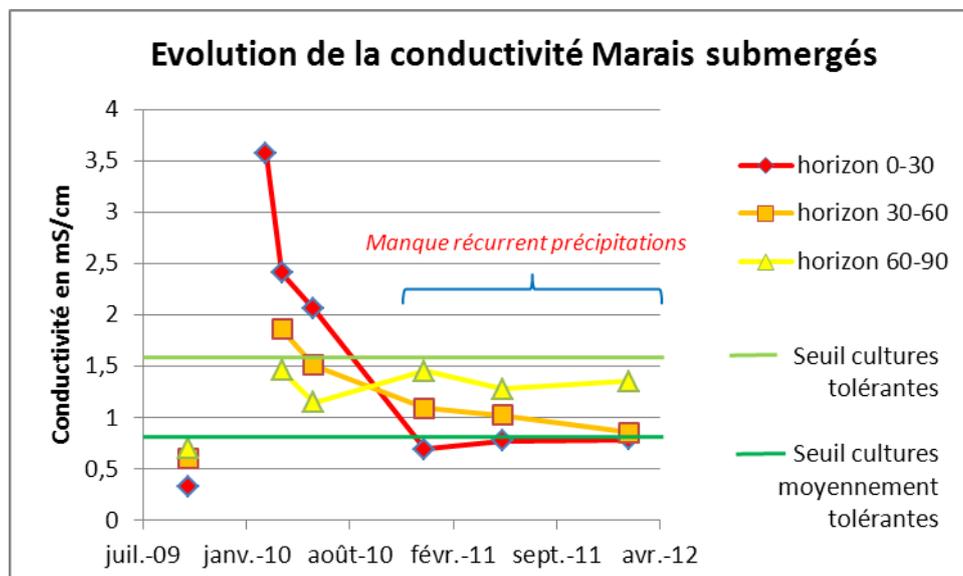
Nouvel état des lieux, deux ans après la submersion. A la défaveur de deux années consécutives sèches, les précipitations de décembre 2011 ont laissé entrevoir un signe d'espoir. Ce dernier fut de courte durée puisque la sécheresse s'est installée jusqu'à fin mars. Heureusement que les précipitations d'avril ont permis de sauver le potentiel des cultures.



Le déficit en précipitations cumulées de janvier 2011 à septembre 2012 est de près de 25 % par rapport à la normale ce qui est extrêmement important sur une durée aussi longue. Nous en mesurerons pleinement les conséquences dans l'analyse des résultats ci-dessous.

3.1 - Evolution de la salinité des sols et choix de cultures

Pour rappel, la mesure de conductivité permet de mesurer la teneur en sels de la solution du sol ; dont le sodium.



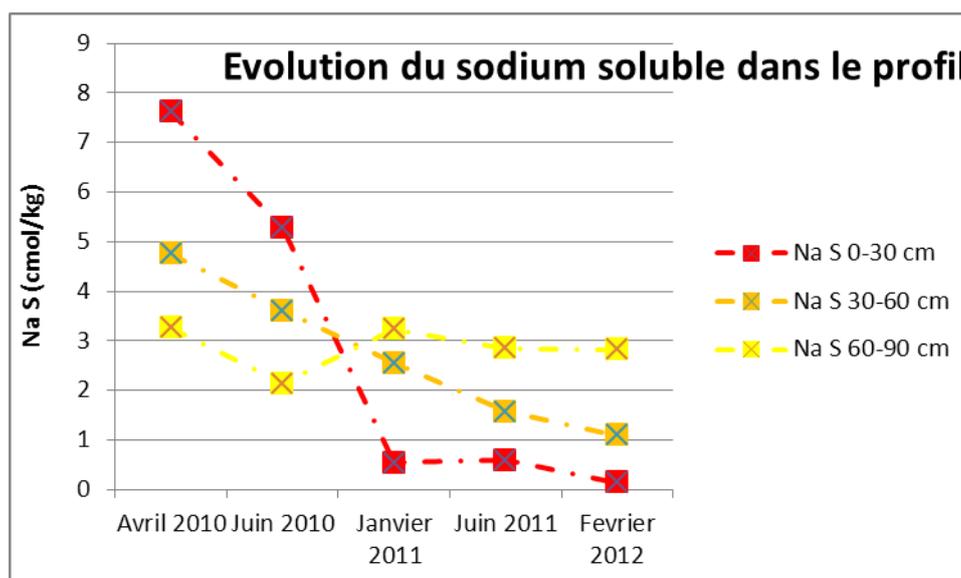
En 2012, 23 sites de références sur le continent ont été suivis pour les **grandes cultures**, les premiers prélèvements ayant débutés dès la fin janvier 2012.

Zone	Marais Poitevin (9 sites)		Rochefort Nord (6 sites)		Rochefort Sud (8 sites)	
Horizon	Conductivité moyenne 2012	Evolution 2011/2012	Conductivité moyenne 2012	Evolution 2011/2012	Conductivité moyenne 2012	Evolution 2011/2012
0 – 30 cm	0.83 mS (0.37 à 1.31)	18 % ↗	0.44 mS (0.24 à 0.7)	33 % ↘	1.05 mS (0.73 à 1.51)	13 % ↗
30 – 60 cm	0.75 mS (0.68 à 0.82)	26 % ↘	0.75 mS (0.33 à 1.08)	25 % ↘	1.07 mS (0.61 à 1.65)	7 % ↘
60 – 90 cm	1.14 mS (0.78 à 1.76)	17 % ↘	1.37 mS (1.09 à 1.78)	55 % ↗	1.56 mS (1.02 à 2.03)	3 % ↘

Comme nous l'avons démontré en 2011, il est important de bien coupler l'analyse des mesures de conductivité à celles de teneur en sodium soluble après apport de gypse.

En effet, si la corrélation entre ces deux mesures est plutôt forte avant gypsage avec un R^2 de 0.84, l'apport de gypse, et donc de sulfate de calcium, prend ensuite une part prépondérante dans la mesure de conductivité réduisant ainsi le R^2 à 0.44. La mesure de conductivité après gypsage est donc biaisée et ne reflète en rien la vraie teneur en sodium de la solution du sol.

Malgré une tendance à la stagnation de cette mesure de conductivité, la salinité du sol est en baisse constante comme en atteste le suivi du sodium soluble dans le graphique ci-dessous. Pour preuve également, le bon comportement global des cultures en 2011 et sur la première moitié d'année 2012 même si les niveaux de productions antérieurs ne sont pas encore retrouvés. Le manque d'eau global sur les deux dernières années en étant le principal facteur. On a pu observer cependant en culture, l'effet bénéfique des précipitations du mois d'avril.

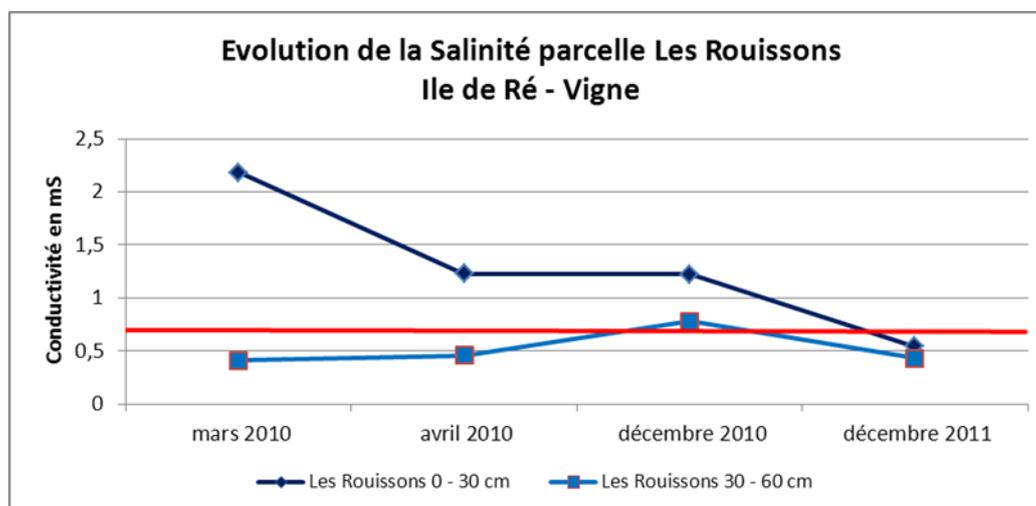


Zone	Marais Poitevin (9 sites)		Rochefort Nord (6 sites)		Rochefort Sud (8 sites)	
	Na S moyen 2012	Evolution 2011/2012	Na S moyen 2012	Evolution 2011/2012	Na S moyen 2012	Evolution 2011/2012
0 – 30 cm	0.042 cmol/kg (0 à 0.17)	85 %	0.16 cmol/kg (0 à 0.54)	85 %	0.17 cmol/kg (0.05 à 0.27)	68 %
30 – 60 cm	0.096 cmol/kg (0 à 0.36)	91 %	1.36 cmol/kg (0.17 à 2.36)	29 %	1.47 cmol/kg (0.11 à 3.66)	20 %
60 – 90 cm	1.89 cmol/kg (0.55 à 4.46)	60 %	3.14 cmol/kg (1.33 à 3.13)	46 %	3.16 cmol/kg (1.64 à 4.9)	16 %

Le sodium soluble a donc diminué de manière significative dans l'ensemble, même si des différences se font ressentir. En effet, la nature même du marais et sa qualité initiale de part une circulation de l'eau favorisée joue un rôle prépondérant dans l'évacuation du sodium. Ainsi la situation a évoluée de manière extrêmement favorable sur la zone marais poitevin laissant entrevoir la possibilité d'implanter du maïs dès le printemps 2012 avec une certaine assurance de potentiel. Si l'évolution est intéressante sur le premier horizon dans les deux autres zones, la progression est moins importante dans les horizons de profondeur de part des structures plus fragiles. La remontée des teneurs sur l'horizon 60-90 cm de la zone Rochefort Nord est expliquée par la présence de parcelles en bordure côtière avec remontée de sel par la nappe.

Pour rappel, des prélèvements avaient été effectués sur 13 sites en **maraîchage** de l'Île de Ré en 2010 en vue d'y implanter de la pomme de terre. Sur ces sols sableux et filtrants, les valeurs obtenues se trouvaient très en dessous du seuil de tolérance proposé par la FAO (Food Agriculture Organisation) de 2 mS/cm pour la pomme de terre. La plantation de tubercules dans ces parcelles a donc pu avoir lieu et retrouver des niveaux de productivité proches de ceux observés les années antérieures. Cependant, pour garantir ces rendements, les producteurs doivent avoir recours à des apports importants de matières organiques et d'éléments fertilisants. En effet, des problèmes de structure et de vie microbienne des sols sont régulièrement observés. Les efforts actuels sont donc consacrés à la réhabilitation de ces sols. Pour ce faire, la chambre d'agriculture a mis en place une cession de formation consacrée à l'évaluation de la fertilité des sols via une approche agronomique.

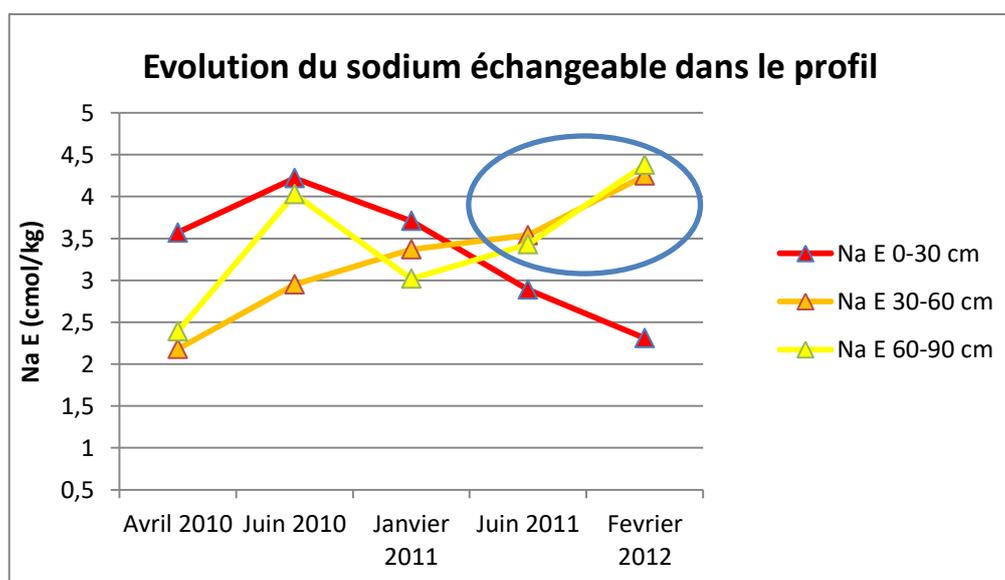
Concernant la **vigne** sur l'Île de Ré, la tendance était similaire au maraîchage sur les terres sableuses avec des niveaux de conductivité inférieurs au seuil de tolérance. En revanche, quelques analyses réalisées sur des secteurs plus argileux (Les Rouissons) révélaient des situations plus préoccupantes qu'en sable avec des teneurs qui étaient encore comprises entre 1.1 et 1.6 mS/cm.



Les résultats d'analyses initialement prévues début 2012 mais réalisées en décembre 2011 mettent en avant qu'un décalage d'un an est donc observé entre ce type de parcelles plus argileuses et les secteurs beaucoup plus sableux pour atteindre les mêmes niveaux de salinité.

L'ensemble de ces résultats avait donc permis de cibler les zones où la replantation était possible dès 2011 et les secteurs où la priorité devait être donnée à l'apport de matières organiques, sous forme de compost ligneux, et au travail mécanique afin d'améliorer l'aération et la structure du sol et ainsi favoriser l'évacuation du sodium. Les observations sur les replantations de 2011 et 2012 ne montrent, pour l'instant, pas de symptômes de salant et laissent penser que la colonisation racinaire des horizons profonds se poursuit sans incident et que les conséquences de Xynthia ne sont plus un obstacle à la pérennité des vignobles replantés.

3.2 - Evolution de la sodicité et de l'état structural des sols

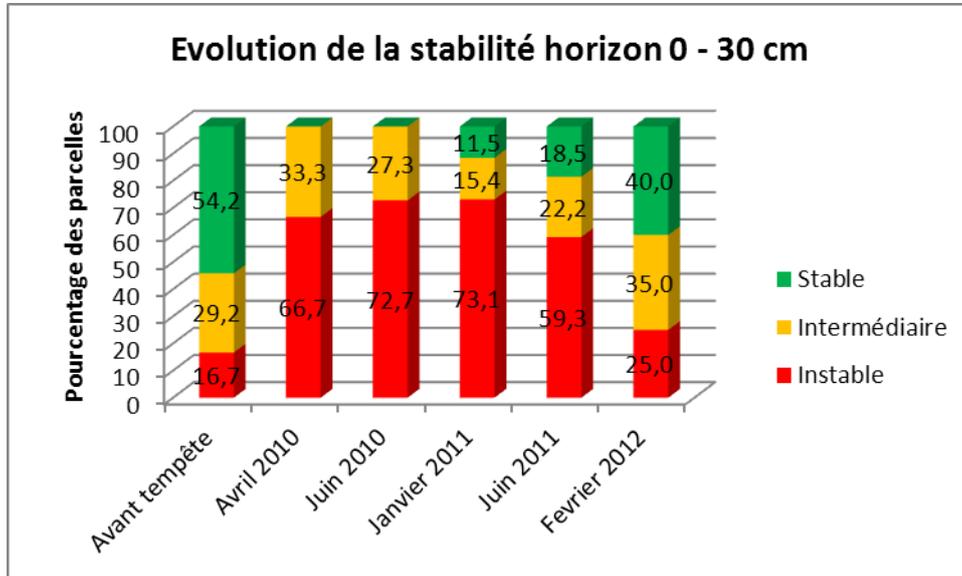


Si les teneurs en sodium soluble (dans la solution du sol) sont en baisses sur l'ensemble du profil, le sodium échangeable (fixé sur les argiles) ne l'est que sur le premier horizon.

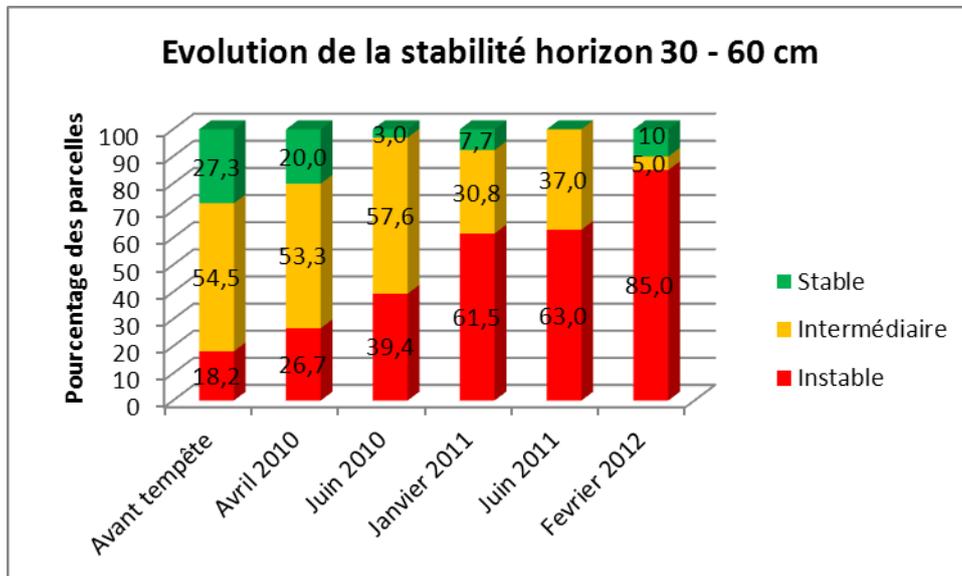
Zone	Marais Poitevin (9 sites)		Rochefort Nord (6 sites)		Rochefort Sud (8 sites)	
	Na E moyen 2012	Evolution 2011/2012	Na E moyen 2012	Evolution 2011/2012	Na E moyen 2012	Evolution 2011/2012
Horizon						
0 - 30 cm	2.09 cmol/kg (1.17 à 4.13)	23 % ↓	2.93 cmol/kg (0.56 à 5.55)	5,5 % ↓	2.03 cmol/kg (0.94 à 3.02)	30 % ↓
30 - 60 cm	4.7 cmol/kg (3.67 à 5.76)	32 % ↑	3.8 cmol/kg (0.63 à 5.12)	27 % ↑	4.3 cmol/kg (0.18 à 6.52)	9 % ↑
60 - 90 cm	4.34 cmol/kg (2.33 à 8.6)	45 % ↑	5.52 cmol/kg (1.4 à 9.12)	31 % ↑	3.65 cmol/kg (1.73 à 6.49)	8 % ↑

La dégradation est quant à elle assez forte dans les horizons plus profonds. Comme pour le sodium soluble, l'importance de la qualité des sols est importante pour les échanges et la migration en profondeur du sodium échangeable qui est donc plus importante sur le Marais Poitevin que sur Rochefort Nord et que sur Rochefort Sud. Le retour à la normale dans le temps sera donc dépendant des qualités intrinsèques de chaque parcelle et du travail du sol qui y sera réalisé.

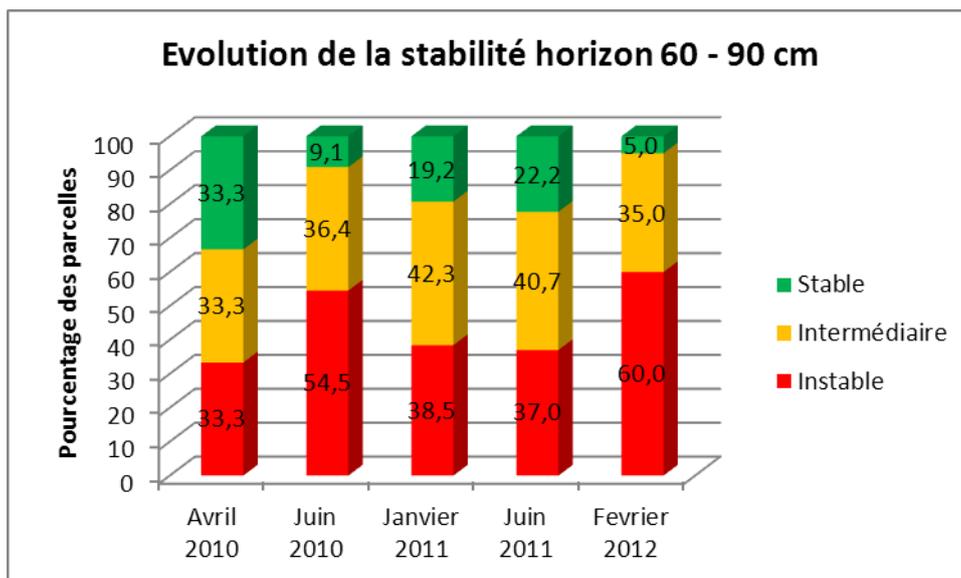
Ces évolutions sont donc caractérisées par le suivi de la stabilité structurale des différents horizons que l'on retrouve dans les graphiques ci-dessous.



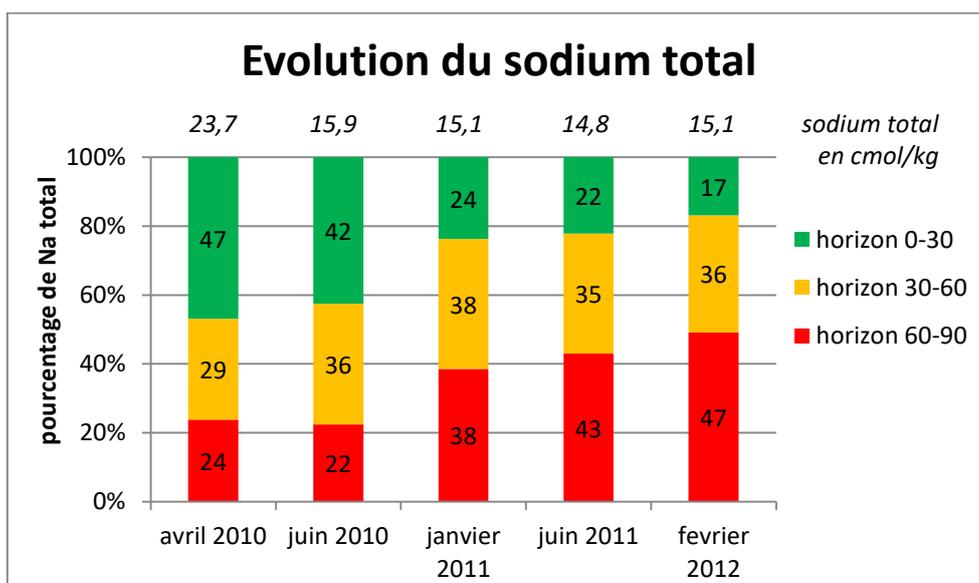
Après une nette dégradation de l'horizon de surface en 2010, l'amélioration constatée en 2011 se confirme sur ce début d'année avec un retour espéré à la normale en 2013. Le gypse a donc bien joué son rôle sur les 30 premiers centimètres avec une diminution significative du sodium échangeable.



L'horizon 30 - 60 cm continue quant à lui de se dégrader avec 85 % de part instable et 5 % intermédiaire même s'il semblerait que l'on est atteint le seuil d'infléchissement avec un retour de 10 % de situations stables. Le niveau du sodium total a diminué globalement de 10 % dû principalement à la baisse des niveaux piézométriques qui ont entraîné l'évacuation d'une partie du sodium soluble. En revanche, la quantité de sodium fixé sur les argiles continue d'augmenter rendant cet horizon plus fragile.



De par le transfert progressif du sodium dans le profil, l'horizon 60 - 90 cm continue de se dégrader avec l'augmentation du sodium total. 95 % des situations sont intermédiaires à instables.



Ces résultats mettent bien en avant la progression du front de sel qui se trouve désormais dans l'horizon 30 - 60 cm avec une dégradation marquée de ce dernier. Le gypse a donc permis de gagner en classe de stabilité sur le premier horizon et devrait permettre de gagner en stabilité sur le second horizon avec les précipitations de la fin d'année 2012.

Ainsi, la priorité doit être donnée à la fissuration du sol et à l'augmentation de la porosité.

3.3 – Observations profils de sol

Comme nous avons pu l'observer précédemment, la qualité structurale via notamment le travail du sol et le choix des outils revêt une importance particulière. Afin de bien corréliser les résultats des analyses chimiques aux observations visuelles, nous avons mis en place l'observation de profils pédologiques sur 5 parcelles.

Voici quelques exemples de situations intéressantes qui nous ont permis de compléter nos observations visuelles et ainsi d'adapter les pratiques et le conseil auprès des agriculteurs.



Dans cette situation (site INRA), le front de sel est clairement identifié et vient confirmer les résultats d'analyses. Les fissurations dues au travail du sol sont visibles mais les mottes restent de taille trop importante et compactée. Les surfaces sont « beurrées » et montrent l'état instable de la structure.



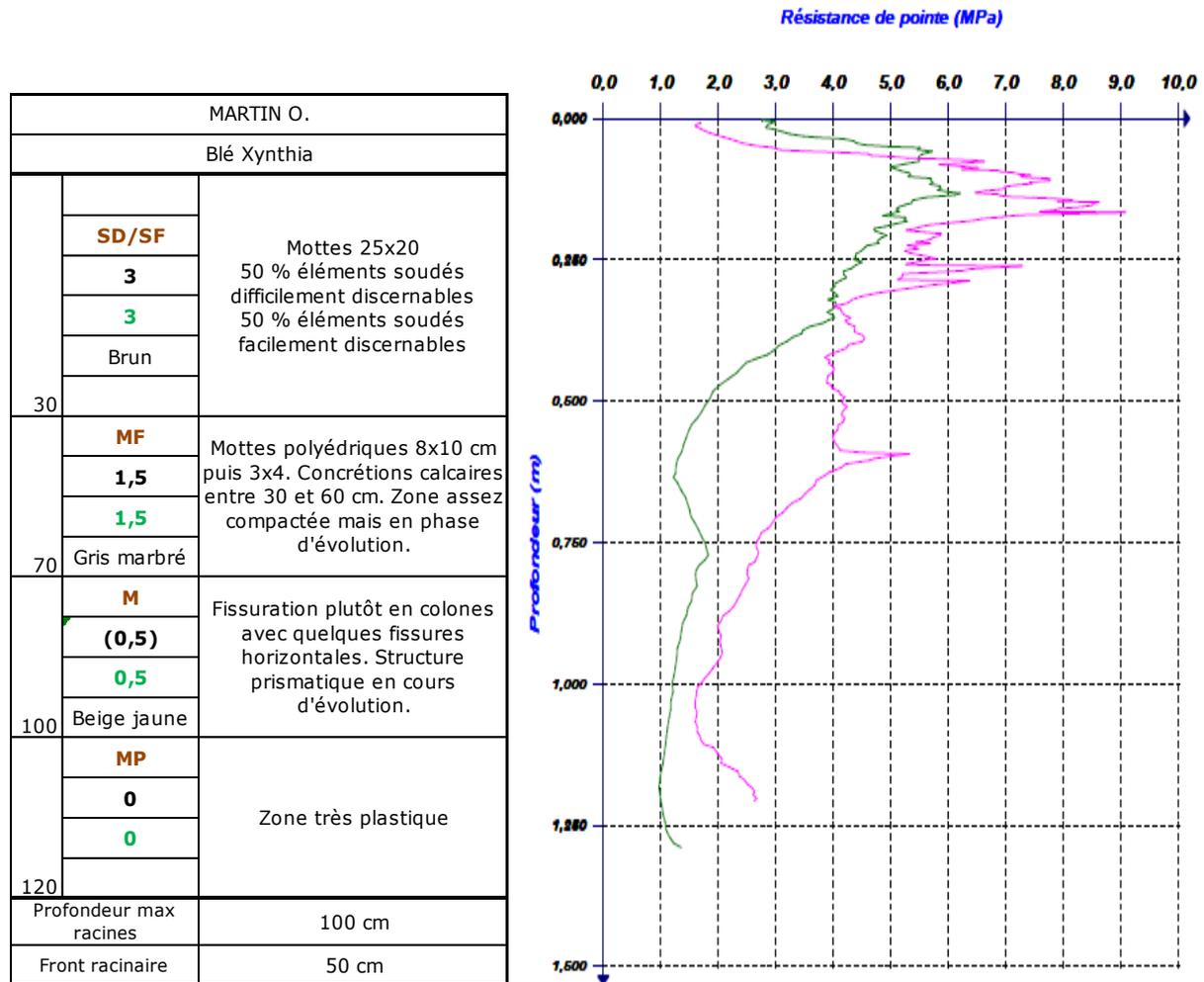
Dans cette seconde situation sur le Marais Poitevin, les tassements sont marqués sur l'horizon travaillé.

Le sol est encore fragile, il est alors primordial d'intervenir en bonnes conditions sur un sol ressuyé et de recréer de la porosité.

Dans ces cas bien précis, la circulation de l'eau peut être très mauvaise, les échanges réduits et donc l'évacuation du sodium limitée.

Un gypsage seul ne résoudrait en rien le problème.

Dans le cas ci-dessous, nous avons réalisé en parallèle de l'observation de profil à des mesures de compactage au pénétromètre dynamique à énergie variable.



La zone 0 -30 cm est malgré tout compactée avec des éléments grossiers soudés difficilement discernables qui confirme l'instabilité de cette zone mise en avant par les analyses chimiques. Le contrôle au pénétromètre confirme également cette résistance. Tout le soin doit être apporté à cette zone au niveau du travail du sol pour retrouver de la fissuration, des mottes et donc de la porosité.

Même si la zone sous-jacente (30-70 cm) est constituée de mottes polyédriques intéressantes, l'ensemble est plutôt massif + fissuré mais est en cours d'évolution. Plus en profondeur, les fissures verticales sont bien présentes mais la porosité entre les deux est faible et la présence de sodium échangeable encore importante rend la structure fragile et plastique ce qui laisse le pénétromètre s'enfoncer sans trop de résistance. Ces zones sont instables.

Le fait de coupler différentes observations et mesures dans ces situations, permet d'atteindre une approche globale très fine et précise qui permet d'optimiser le travail du sol et le gypse si nécessaire.

3.4 – Enquête et suivi de terrain

Initié en 2011, ce travail d'enquête permet de recueillir l'ensemble des interventions réalisées sur les sites de références depuis leur submersion, que ce soit du mode de submersion, d'évacuation de l'eau, des interventions mécaniques, du gypsage ou bien même du résultat des cultures implantées. L'analyse croisée avec les résultats d'analyses doit nous permettre de faire le lien entre les pratiques et le comportement de la parcelle.

Sept sites de référence ont été enquêtés en détail au printemps 2012 dont voici quelques résultats et évolutions.

Site n°	Rendement 2010	Rendement 2011	Profil classement INRA		
			Avant tempête	2012	Gypsage
1	Tournesol 4 q/ha	Blé Dur 35 q/ha	5	9	13 T/ha 2010
2	Orge 15 q/ha	Maïs 90 q/ha	5	8	13 T/ha 2010
3	Sol nu	Blé Dur 60 q/ha	5	6	30 T/ha 2010
4	Tournesol 20 q/ha	Blé Dur 30 q/ha	5	9	10 T/ha 2010
5	Orge 20 q/ha	Blé Dur 42 q/ha	5	9	10 T/ha 2010 +9 T/ha 2011
6	Tournesol 30 q/ha	Tournesol 44 q/ha	2	6	14 T/ha 2010
7	Tournesol non récolté	Blé Dur 60 q/ha	3	8	10 T/ha 2010 +10 T/ha 2011

La première approche ne nous a pas permis d'établir de lien direct entre profil type et rendements obtenus dans la mesure où ces derniers sont hétérogènes. En revanche, le passé de la parcelle, l'historique de travail du sol et donc la structure initiale de la parcelle jouent un rôle prépondérant dans l'évacuation du sodium et donc dans le potentiel de fixation du sodium sur le CAH entraînant la dégradation du sol.

Nous étudions actuellement plus en détail le rôle du travail du sol qui semble primordial mais le recoupement des données est assez long et fastidieux. L'effet gypsage est également observé avec l'étude en parallèle des sites de référence avec témoin sans gypse.

V – CONCLUSION

Il apparait clairement aujourd'hui que la salinité est en baisse et les précipitations importantes relevées depuis fin 2012 n'ont pu qu'améliorer la situation. Dorénavant, l'incidence directe du sodium sur les cultures ne devrait être que limité.

La sodicité, quant à elle, est toujours préoccupante. Même si l'on a gagné en stabilité sur le premier horizon, les précipitations importantes de l'hiver nous ont rappelé que les structures restent extrêmement fragiles. Les situations où l'eau est restée en surface cet hiver avec des problèmes d'infiltration sont nombreuses.

Les rendements encourageant de 2012 laissent entrevoir un brin de lumière avec l'espoir de se rapprocher des rendements moyens initiaux en 2013 ou 2014. En revanche, les structures sont encore fragiles et cela devrait prendre plus de temps pour retrouver leur état initial.



**Contact : Julien
BERNARDEAU**

Chambre d'agriculture
de la Charente-Maritime
26 place de la République
17290 AIGREFEUILLE
05 46 35 50 79

www.charente-maritime.chambagri.fr

Bibliographie

- Anne Laurence Agenais, Laure Maton, and Cécile Hérivaux. Impacts de la tempête xynthia sur l'agriculture en charente-maritime : Rapport de mission. Report, BRGM, 2010.
- Anne-Laurence Agenais, Frédéric Grelot, Pauline Brémond, and Katrin Erdlenbruch. Dommages au secteur agricole : Guide méthodologique et fonctions nationales. Report, GT AMC inondation, 2013.
- Alain Anziani. Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur les conséquences de la tempête xynthia. Report, 2010.
- Julien Bernardeau. Bilan 2011 - acquisition de références sur les sols ennoyés lors de la tempête xynthia. Report, Chambre d'Agriculture 17 - France AgriMer, 2012.
- Catherine Bersani, François Gérard, Olivier Gondran, Annick Hélias, Xavier MARTIN, Patrick Puech, Philippe Dumas, Michel Rouzeau, Colonel Bruno Fleury, Colonel Marc Greff, Colonel Robert Bougère, and Colonel Yvon Trepos. Tempête xynthia : retour d'expérience, évaluation et propositions d'action - tome i : Rapport. Report, CGEDD, IGF, IGA, IDSC, 2010.
- Pauline Brémond, Frédéric Grelot, and Anne Laurence Agenais. Review article : Economic evaluation of flood damage to agriculture – review and analysis of existing methods. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13(10) :2493–2512, 2013. ISSN 1684-9981. doi : 10.5194/nhess-13-2493-2013. URL <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/2493/2013/>.
- Daphné Durant, Eric Kernéis, Jean-Marc Meynard, Jean-Philippe Choisis, Claude Chataigner, Jean-Michel Hillaireau, and Christophe Rossignol. Impact of storm xynthia in 2010 on coastal agricultural areas : the saint laurent de la prée research farm's experience. *Journal of Coastal Conservation*, 2018. ISSN 1874-7841. doi : 10.1007/s11852-018-0627-8. URL <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0627-8>.
- Akira Endo and Dong-Jin Kang. Salt removal from salt-damaged agricultural land using the scraping method combined with natural rainfall in the tohoku district, japan. *Geoderma Regional*, 4 :66–72, 2015. ISSN 2352-0094. doi : <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.11.001>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235200941400039X>.
- Kensuke Goto, Takehiro Goto, Jephtha C Nmor, Kazua Minematsu, and Keinosuke Gotoh. Evaluating salinity damage to crops through satellite data analysis : application to typhoon affected areas of southern japan. *Natural Hazards*, 75(3) :2815–2828, 2015. ISSN 0921-030X. doi : 10.1007/s11069-014-1465-0. URL <GotoISI>://WOS:000347161900044.
- Iain J. Gould, Isobel Wright, Martin Collison, Eric Ruto, Gary Bosworth, and Simon Pearson. The impact of coastal flooding on agriculture : A case-study of lincolnshire, united kingdom. *Land Degradation and Development*, n/a(n/a), 2020. ISSN 1085-3278. doi : 10.1002/ldr.3551. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3551>.
- Hélène Hernu, Rouchdy Kbaier, Joël Rochard, Michel Casteigts, WXavier de Furst, Bernard Jullien, Louis-Pierre Balay, and Muriel Guillet. Rapport sur l'évaluation des dommages causés par la tempête xynthia des 27 et 28 février 2010 à prendre en compte au titre du fonds de solidarité de l'union européenne. Report, CGDD, IGF, IGA, CGAER, 2010.

- Jean Louis Léonard. Rapport d'information déposé en application de l'article 145 du règlement par la mission d'information sur les raisons des dégâts provoqués par la tempête xynthia. Rapport d'information N° 2697, Assemblée Nationale, 1er juillet 2010 2010. URL <http://www.assemblee-nationale.fr/13/pdf/rap-info/i2697.pdf>.
- Daniela Molinari, Anna Rita Scorzini, Alice Gallazzi, and Francesco Ballio. Agride-c, a conceptual model for the estimation of flood damage to crops : development and implementation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19(11) :2565–2582, 2019. ISSN 1684-9981. doi : 10.5194/nhess-19-2565-2019. URL <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/19/2565/2019/>.
- CETE Méditerranée. Retour d'expérience économique des inondations xynthia et var 2010. Report, CGDD, 2012.
- H. J. Page and W. Williams. The effect of flooding with seawater on the fertility of the soil. *The Journal of Agricultural Science*, 16(4) :551–573, 1926. ISSN 0021-8596. doi : 10.1017/S0021859600018359. URL <https://www.cambridge.org/core/article/effect-of-flooding-with-seawater-on-the-fertility-of-the-soil/B291349210D5B2C20257EAA08E0CCA2C>.
- Pierre Rochet, Michel Gombert, Jacques Nadeau, Fabienne Pelletier, Patrick Puech, Michel Casteigts, Xavier de Furst, Bernard Jullien, and Joël Rochard. Rapport sur l'évaluation des dommages causés par la tempête xynthia aux biens nonassurés des collectivités territoriales à prendre en compte au titre de la mise en oeuvre du programme 122. Report, IGA - CGEDD - IGF, 2010.
- Delphine Rouchon, Cédric Peinturier, Natacha Christin, and Doris Nicklaus. Analyse multicritère des projets de prévention des inondations - guide méthodologique 2018. Report, MTES, 2018a.
- Delphine Rouchon, Cédric Peinturier, Natacha Christin, and Doris Nicklaus. Analyse multicritère des projets de prévention des inondations- annexes techniques 2018. Report, MTES, 2018b.
- UNIMA. Syndicat intercommunal du littoral yves-châtelailon – programme d'actions de prévention des inondations. Report, 2011.