

DDAF de Loire-atlantique

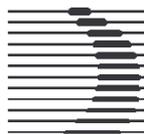
Etude Alea-Enjeux du risque inondation en Brière (Loire-Atlantique)

**14 octobre 2004
A34531 /B**

DDAF DE LOIRE-ATLANTIQUE
Service Aménagement et Environnement
12, rue Menou – BP 23523
44035 Nantes cedex 1

Etude Aléa-Enjeux du risque inondation en Brière
(Loire-Atlantique)

14 octobre 2004
A34531 /B



ANTEA

AGENCE BRETAGNE PAYS-DE-LA-LOIRE

8, boulevard Albert Einstein – BP 32345
44323 NANTES Cedex 3
Tél. : 02.28.01.32.32 – Fax : 02.28.01.30.93

Synthèse et conclusions

La préfecture de Loire Atlantique souhaitant mettre en œuvre des outils d'aide à la décision quant à la prévention des risques d'exposition aux catastrophes naturelles, notamment les inondations, a confié à ANTEA la réalisation d'une étude sur le bassin versant du Brivet en vue de l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques (PPR). Cette étude a principalement consisté à définir et localiser les principaux enjeux et les aléas inondations du bassin versant du Brivet situé en amont de la route nationale 171.

Le présent rapport explicite la démarche utilisée pour la réalisation des cartes, précise les principales difficultés rencontrées et la limite des résultats obtenus.

Les principaux enjeux ont été collectés auprès des différents organismes et des collectivités locales et complétés lors des enquêtes de terrains. Ces enjeux sont principalement constitués :

- Des zones U, et NA du POS,
- Des ZAC et des grands ensembles d'habitat type HLM,
- Des établissements recevant du public ou nécessaires à la gestion de crise (écoles, hôpitaux, gendarmeries, pompiers,...)
- Des équipements sensibles (captages, STEP, centraux téléphoniques,...),
- Des voies d'accès.

Le Brivet, dernier affluent rive droite de la Loire, rejoint celle-ci au droit de son estuaire. Son bassin versant, d'une superficie d'environ 800 km² au droit de la RN171, se situe au nord de la Loire et de la ville de Saint-Nazaire.

Ce bassin versant comporte de nombreux marais alimentés et drainés par le Brivet et ses affluents. De l'amont vers l'aval, on rencontre ainsi les marais :

- du haut Brivet (Marais de Campbon, grands marais, marais du Brivet, de la Rennais et de Balassons),
- de la Boulaie,,
- de Donges (marais de Besné et de Donges),
- et le marais de la Grande Brière Mottière.

L'ensemble de ces marais, regroupé depuis 1970 en parc naturel régional, constitue le deuxième marais de France.

Par suite de sa faible pente, de la présence des marais et des nombreux ouvrages hydrauliques, le fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique du Brivet est particulièrement complexe. Ce bassin versant comporte quatre exutoires :

- Le Brivet dont l'exutoire se situe en aval immédiat du Pont de Saint-Nazaire,
- Les canaux du Priory, Martigné et de la Taillée, défluent du Brivet, dont les exutoires se situent entre Lavau et Saint-Nazaire.

Afin d'éviter les remontées d'eaux salines et contrôler les échanges avec la Loire, tous ces exutoires sont actuellement équipés d'ouvrages motorisés (écluses).

Les niveaux du Brivet et des marais sont ainsi directement dépendant des conditions météorologiques, précipitations et évaporation et/ou évapotranspiration, survenant sur le bassin versant mais également dépendant de la gestion de ces différents ouvrages et des conditions de niveaux d'eau existants en aval de ces ouvrages.

Afin d'évacuer les apports importants dus aux pluies abondantes des mois d'hiver, les portes et vannes de ces ouvrages sont généralement, durant l'hiver et le début du printemps :

- en position ouvertes, durant les heures de basse mer,
- en position fermées, durant les heures de pleine mer ou durant les crues significatives de la Loire.

Durant l'été les portes et vannes des différents ouvrages sont fermées, sauf pour une éventuelle ré-alimentation des marais à partir des eaux de la Loire ou des eaux marines. Le système hydraulique ainsi constitué permet ainsi de réduire les impacts des fluctuations climatiques (soutien des étiages et laminage des crues) tout en permettant une exondation relativement rapide, au printemps, afin de permettre la mise en culture des terres exondées.

Afin de définir le fonctionnement du système, préciser les valeurs fréquentielles des cotes d'inondations et délimiter les zones potentiellement inondables, nous avons procédé à l'inventaire, la collecte et l'analyse des données disponibles, notamment de données :

- climatologiques (précipitations et évapotranspiration potentielle),
- limnimétriques
- topographiques et historiques
- photographiques.

Si certaines de ces données apparaissent relativement nombreuses (cotes des principaux marais), d'autres sont inexistantes (débit du Brivet, côtes des marais amont et des marais de Donges ...), il en résulte, au droit de ces zones, une incertitude beaucoup plus importante sur les cotes probables d'inondations.

L'analyse des données et l'utilisation du modèle hydrologique GARDENIA ont permis de montrer la relation directe reliant le cumul pluviométrique des précipitations survenant entre septembre et février ou mars avec les cotes maximales des marais. La modélisation a même permis de recréer, aux incertitudes pluviométriques près, une chronique des cotes maximales des marais sur une période beaucoup plus étendue.

D'après les informations recueillies et les analyses réalisées il ressort que les crues pouvant survenir sur le bassin versant du Brivet sont de deux types bien différents suivant leur localisation :

- courtes (quelques heures), relativement violentes mais principalement localisées en amont des ouvrages de franchissements (zone à section d'écoulement réduite) dans les parties amont des bassins versants. Elles sont la conséquence du ruissellement rapide des précipitations. Elles peuvent survenir en hiver mais surtout durant les orages d'été. Les informations concernant ces crues sont peu nombreuses voire inexistantes. Ces ouvrages de franchissements étant généralement dimensionnés pour des périodes de retour comprises entre dix ans et cents ans, la cote de fréquence rare (cents ans) sera généralement légèrement supérieure à la cote de déversement sur la route.
- très longues (plusieurs mois), très étendues mais sans danger destructeur (sauf au droit des ouvrages et du lit mineur) dans la partie aval des bassins. Ce sont des inondations par montée exceptionnelle des niveaux d'eau dans les marais. Elles sont la conséquence d'un cumul pluviométrique important entre les mois de septembre à février voire mars. Le maximum de ces inondations survient généralement entre la troisième semaine de janvier et la fin mars, exceptionnellement en dehors de cette période. Les valeurs fréquentielles de ces cotes maximales ont été déterminées à partir des cotes observées au droit des quatre stations disponibles sur la période 1980/2003.

Le faible relief et le manque d'information topographique au sol disponible, nous a amené ensuite à utiliser le modèle numérique de terrain au pas de 50 mètres issu de la BD ALTI de l'IGN. Son utilisation en limite de ses capacités et les zones d'erreurs qu'il comportait nous ont obligé à procéder à un découpage et un recalage de différentes zones. Ces découpages et recalages ont été réalisés en lui superposant les zones inondées lors de la crue de 2001 ainsi que les informations observées ou collectées lors de l'enquête de terrain. Ces zones inondées avaient été définies à l'aide de photographies satellites prises au paroxysme de la crue de 2001 dont la période de retour a été estimée à cinquante ans (rapport Géolittomer, cf. biblio 1).

Le report des aléas prévoyait un tracé de la crue de fréquence décennale et un tracé de fréquence centennale. Par manque d'information tant topographique que débitmétrique, il est apparu délicat voire impossible de définir les cotes d'inondations de fréquence décennales pour les bassins versants amont.

Par ailleurs, la faible variation de côtes entre la fréquence décennale et centennale dans les parties avales (environ 0,25 m) ne permet pas de réaliser à l'échelle

minimale du tracé (1/25000) des tracés différenciés entre les deux crues. Pour cette raison, seule la carte de l'aléa de fréquence centennale a été réalisée.

Les zones inondables par la crue de référence, ont ensuite été définies par zones :

- en partie basse du bassin versant en utilisant le modèle numérique de terrain et en considérant comme cotes d'inondations les valeurs fréquentielles définies par ajustement aux droit des quatre zones suivies (Grande Brière, la Taillée, la Boulaie, le Brivet moyen),
- en utilisant le modèle numérique de terrain et les cotes des routes, lorsqu'elles étaient disponibles, dans les parties hautes du bassin versant.

La carte ainsi produite comporte une zone d'aléa :

- figuré en bleue correspondant à des inondations de faible hauteur et de faible vitesse sauf au droit des ouvrages et des thalwegs principaux où la vitesse peut être moyenne à forte,
- figuré en orange qui correspond à des zones situées en aval de petites retenues où la rupture de l'ouvrage peut dans certains cas entraîner une vitesse d'écoulement moyenne à forte.

Le report des enjeux et de l'aléa de la crue de référence sur un carte unique permet de constater que certaines zones à enjeu se situent en zone inondable notamment :

- ✓ l'ouest du bourg de la Chapelle-des-Marais,
- ✓ la périphérie du bourg de Saint-Joachim,
- ✓ la périphérie de l'Ile d'Aignac au nord de Saint-Malo-de-Guersac,
- ✓ la périphérie du bourg de Besné,
- ✓ une partie non négligeable de Trignac (il s'agit toutefois principalement de zones urbanisables au POS de la commune, excepté « Bel-Air » qui l'est déjà),
- ✓ certaines zones urbanisables de Montoir-de-Bretagne.

Par ailleurs, Il convient de rappeler que le tracé de la zone inondable a été défini à partir d'un modèle numérique de terrain au pas de 50 mètres, modèle comportant par endroit des erreurs, et que l'absence d'information dans certaines zones a entraîné de fortes approximations. Il ne nous paraît donc pas envisageable d'appliquer directement, sans contrôle altimétrique spécifique, les résultats à l'échelle de la parcelle.

Au droit de ces zones, des préconisations, telle que par exemple 'surélévation obligatoire à une cote minimale des planchers et des voies d'accès' peuvent permettre une mise hors d'eau des biens et des personnes tout en acceptant une inondation temporaire des terrains avoisinants. Les cotes minimales étant fixées par secteur à la valeur de la crue de référence augmentées par exemple d'une marge de 0,20 m .

Sommaire

	Pages
SYNTHESE ET CONCLUSIONS.....	2
1. OBJECTIF DE L'ETUDE.....	8
1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE	8
1.2. PRESENTATION DES NOTIONS D'ALEA, DE RISQUE, DE VULNERABILITE.....	8
2. LES ENJEUX	10
3. DEFINITION DES ALEAS.....	13
3.1. DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME HYDROLOGIQUE	13
3.1.1. <i>Description du réseau</i>	13
3.1.2. <i>Fonctionnement hydrologique</i>	15
3.2. DONNEES COLLECTEES ET CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES	16
3.2.1. <i>Données collectées</i>	16
3.2.2. <i>Analyses des relations pluie – côte maximale</i>	24
3.3. MODELISATION GARDENIA.....	25
3.3.1. <i>But de la modélisation</i>	25
3.3.2. <i>Calage des paramètres des modèles</i>	26
3.3.3. <i>Exploitation des résultats</i>	28
3.4. VALEURS FREQUENTIELLES DES COTES D'INONDATION.....	30
3.4.1. <i>Estimation fréquentielle des crues observées</i>	30
3.4.2. <i>Valeurs fréquentielles des principaux niveaux</i>	30
3.5. CONCLUSION SUR LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME ET SUR LES NIVEAUX D'ALEAS.....	31
4. CARTOGRAPHIE DES ALEAS.....	32
4.1. ANALYSES DES DONNEES DISPONIBLES	32
4.1.1. <i>Imageries satellitaires</i>	32
4.1.2. <i>Collecte et analyse des MNT</i>	32
4.2. CALAGE DU MNT : CRUE DE 2001 – DETERMINATION DE LA COTE DES PLANS D'EAU.....	35
4.2.1. <i>Marais de Grande Brière, de la Boulaie, de la Taillée et Brivet moyen</i>	35
4.2.2. <i>Marais situés en amont</i>	41
4.3. CARTOGRAPHIE DES ALEAS	41
4.3.1. <i>Détermination des inondations décennales</i>	41
4.3.2. <i>Détermination des inondations centennales (cf. plan joint)</i>	42
4.4. NIVEAUX RETENUS POUR LA DEFINITION DE L'ALEA	43
5. SUPERPOSITION ALEA - ENJEU.....	44

Liste des figures

FIGURE 1 :	LOCALISATION DES PRINCIPAUX OUVRAGES ET DECOMPOSITION EN SOUS BASSINS (DELIMITE EN VERT)	14
FIGURE 2 :	VALEURS MAXIMALES MENSUELLES DES COTES OBSERVEES AUX DIFFERENTES STATIONS DES MARAIS	23
FIGURE 3 :	PLUIES MENSUELLES OBSERVEES A SAINT-JOACHIM ET COTES OBSERVEES LE PREMIER DU MOIS A FEDRUN LORS DES ANNEES HUMIDES.....	24
FIGURE 4 :	CORRELATION ENTRE LES CUMULS PLUVIOMETRIQUES DE SAINT-JOACHIM ET LA COTE MAXIMALE ANNUELLE OBSERVEE A FEDRUN.	25
FIGURE 6 :	ILLUSTRATION DES DIFFERENCES ENTRE BD ALTI ET SCAN 1/25000°	33
FIGURE 7 :	LOCALISATION DES ZONES D'INCOMPATIBILITE (ZONES ROUGES) ENTRE MNT BD ALTI ET ZONES INONDABLES DURANT LA CRUE DE 2001 OBSERVEES PAR TELEDETECTION (ZONE BLEUE).....	34
FIGURE 8 :	DECOMPOSITION EN SOUS BASSINS (DELIMITE EN VERT) – CRUE DE 2001 : COMPARAISON DES COTES MAXIMALES OBSERVEES AUX ECHELLES (ROUGE) AVEC LES LAISSES DE CRUES MESUREES EN M NGF (NOIR)	37
FIGURE 9 :	COMPARAISON DES ZONES INONDEES LORS DE LA CRUE DE 2001 DEFINIE PAR SATELLITE (ROUGE) ET A L'AIDE DU MNT CALE (COTE NGF DE 2,1 M).....	39
FIGURE 10 :	TRIGNAC : ZONE D'INONDATION LORS DE LA CRUE DE 2001 DEFINIE PAR SATELLITE (ROUGE), LOCALISATION DES MAISONS SINISTREES (VERT) ET COTE MNT 1,8 M (BLEU FONCE) 2,1 M (BLEU CLAIR)....	40

Liste des annexes

Annexe 1	Présentation du logiciel GARDENIA
----------	-----------------------------------

1. Objectif de l'étude

1.1. Objectif de l'étude

La préfecture de Loire Atlantique souhaitant mettre en œuvre des outils d'aide à la décision quant à la prévention des risques d'exposition aux catastrophes naturelles, notamment les inondations, a confié à ANTEA la réalisation d'une étude sur le bassin versant du Brivet en vue de l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques (PPR).

Cette étude s'attachera principalement à définir et localiser les principaux enjeux et les aléas inondations du bassin versant du Brivet situé en amont de la route nationale 171.

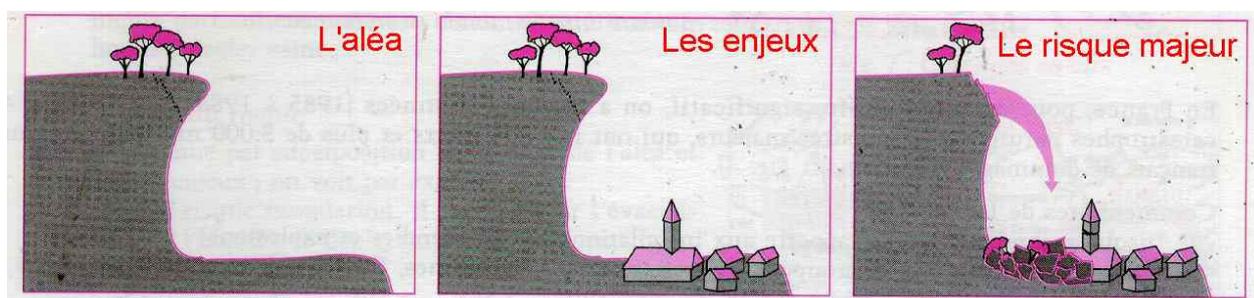
1.2. Présentation des notions d'aléa, de risque, de vulnérabilité

NOTION DE RISQUE

Le PPR concerne la prévention des risques. Il importe donc de connaître le sens du terme « risque » afin de mieux appréhender la signification des données de base nécessaires à l'élaboration du PPR ou de ses études préparatoires.

En prenant pour simplifier, l'exemple du risque mouvement de terrain, Le « risque » peut être défini de la façon suivante :

$$\text{RISQUE} = \text{ALEA} * \text{ENJEUX} * \text{VULNÉRABILITÉ}$$



L'aléa représente le danger lié aux phénomènes naturels cartographiés (ou zonés). Cartographier l'aléa revient à délimiter des zones qui se distinguent par la probabilité d'apparition du phénomène et/ou par le type de manifestation de ce phénomène. Ainsi par exemple, l'aléa sismique est lié aux vibrations du sol, aux failles actives, à la liquéfaction, etc.,

- avec pour chacun de ces phénomènes une probabilité d'occurrence variable en fonction du contexte.

- **L'enjeu** représente la nature et l'importance des éléments exposés aux dangers. La valeur des éléments est pécuniaire, patrimoniale ou stratégique et prend également en compte les vies humaines exposées. Ainsi un hôpital représente un enjeu plus important qu'un bâtiment d'habitation collective qui lui-même représente un plus fort enjeu qu'une habitation individuelle.

Pour l'application des règles parasismiques, la classification des bâtiments et ouvrages intègre cette notion d'enjeux (cf. décret n° 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique).

Les bâtiments, équipements et installations sont répartis en deux catégories respectivement dites « à risque normal » et « à risque spécial ».

- **La vulnérabilité (ou fragilité)** concerne la capacité de résistance d'un élément matériel (constructions, ouvrages, etc.) ou non (comportement humain, organisation des secours, etc.) vis-à-vis d'une agression donnée.

Ainsi pour un même danger et pour un même niveau de fragilité des constructions, le risque est plus élevé en milieu urbain qu'en zone rurale. Dans un désert, même avec un aléa fort, le risque est nul.

Le PPR concerne les constructions existantes mais vise essentiellement les constructions et aménagements futurs. Par la suite, les aléas et les enjeux de la ville seront présentés, afin de comprendre la teneur du règlement et du plan de zonage réglementaire associé.

L'application du PPR en complément des règlements en vigueur, a pour objet de contribuer à la réduction de la vulnérabilité et donc du risque.

2. Les enjeux

Un des objectifs de cette étude est d'identifier les enjeux présents à l'intérieur du périmètre d'étude et liés au risque d'inondation de la région. Ces enjeux sont présentés et classés selon différents thèmes. Ils sont ensuite hiérarchisés.

Les thèmes étudiés permettant d'identifier les éléments à enjeu sur la cartographie sont les suivants :

➤ *Urbanisme*

Le zonage des documents d'urbanisme des communes concernées par le périmètre d'étude a été cartographié. Les différents types de zones étant nombreux, elles ont été regroupées selon 8 classes, selon leur signification :

- ❑ **Zones U** : zones urbanisées à vocation résidentielle, de services, artisanale, voire industrielle ;
- ❑ **Zones ZAC** : Zones d'Aménagement Concerté, destinées à l'implantation d'activités ;
- ❑ **Zones NA** : zones appartenant à un secteur naturel, équipées ou non équipées, destinées à accueillir des urbanisations nouvelles ;
- ❑ **Zones NB** : zones comprenant les parties de la zone naturelle qui ne font pas l'objet de protections particulières pour des raisons de sites, paysage ou richesse agricole et qui ne sont pas non plus destinées à accueillir une urbanisation organisée. Ces zones peuvent recevoir sous certaines conditions un habitat dispersé ;
- ❑ **Zones NC** : zones comprenant les parties de la zone naturelle qu'il convient de protéger en raison notamment de la richesse du sol et du sous-sol. Ces zones comprennent essentiellement les zones agricoles et ne permettent aucune construction ou installation autres que celles directement liées et nécessaires au caractère de la zone ;
- ❑ **Zones ND** : zones naturelles à protéger en raison, d'une part de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et de leur intérêt esthétique, historique ou écologique, et d'autre part, de l'existence de risques ou de nuisances.

Ces données d'ordre réglementaire ont été complétées par des informations recueillies par des enquêtes en mairies sur les zones qui auraient été urbanisées depuis l'établissement du document d'urbanisme ainsi que les projets d'urbanisation en cours (thème de l'occupation urbaine sur la carte des enjeux).

Enfin, les grands ensembles d'habitat type HLM ont été recensés lors d'enquêtes de terrain et cartographiés.

➤ *Etablissements recevant du public ou nécessaires à la gestion de crise*

- ❑ Groupes scolaires ;
- ❑ Hôpitaux / Centres médico-sociaux ;
- ❑ Centres de secours ;
- ❑ Gendarmeries ;
- ❑ Salles de sport et de loisirs ;
- ❑ Musées ;
- ❑ Campings ;
- ❑ Maison du Parc Régional de Brière.

L'ensemble de ces informations ont été recueillies en mairies mais également auprès du SDIS pour les centres de secours.

➤ *Equipements sensibles*

- ❑ Poste électrique ;
- ❑ Captages d'alimentation en eau potable ;
- ❑ Stations d'épuration ;
- ❑ Aérodrome ;
- ❑ Centraux téléphoniques.

Certaines de ces informations ont été recueillies en mairies. Elles ont été complétées par l'étude des cartes existantes.

Une demande effectuée auprès de la DDASS ainsi qu'une consultation de la Banque de Données du Sous-Sol ont permis de recenser les captages AEP.

Les stations d'épuration ont été répertoriées auprès du SATESE.

La localisation des centraux téléphoniques ont été fournies par France Télécom.

➤ *Patrimoine*

- Monuments historiques classés ou inscrits.

Ces données ont été recueillies auprès de la Direction Régionale des Affaires Culturelles des Pays-de-la-Loire.

➤ *Informations ponctuelles sur les inondations*

Les enquêtes réalisées sur le terrain ont également permis d'identifier des points géographiques ayant déjà été inondés ou au contraire ayant été hors d'eau lors des différentes crues (notamment lors de la crue de 2001). Ces points sont repérés sur les cartes :

- par un triangle rouge pour les points ayant déjà été inondés lors de crues antérieures (informations recueillies sur le terrain),
- par un triangle vert lorsque le point géographique était hors d'eau alors qu'il y avait des inondations aux alentours (informations recueillies sur le terrain).

Les plans d'eau bordés d'une digue ont été recensés également lors de ces enquêtes de terrain. L'écoulement de type torrentiel, en cas de rupture de digue, entre le plan d'eau et la zone inondable a été repéré sur la carte (ligne ondulée violette).

Remarque : les routes nouvellement construites n'apparaissant pas sur le scan ont été recensées lors des enquêtes de terrain et ajoutées à la cartographie (voir thème de l'occupation urbaine sur les cartes).

L'ensemble de ces données est présenté sur la carte des enjeux.

Les éléments considérés comme les plus sensibles sont repris sur la carte des aléas pour croiser les données et en déduire les zones prioritaires quant à la prévention des risques d'inondation. Il s'agit des éléments suivants :

- Urbanisme
 - Les zones U, ZAC et NA des documents d'urbanisme ainsi que les zones d'occupation urbaine et les projets d'aménagement qui complètent ces documents,
 - Les grands ensembles d'habitat type HLM.
- Etablissements recevant du public ou nécessaires à la gestion de crise
 - Groupes scolaires ;
 - Hôpitaux / Centres médico-sociaux ;
 - Centres de secours ;
 - Gendarmeries.
- Equipements sensibles
 - Poste électrique ;
 - Captages d'alimentation en eau potable ;
 - Stations d'épuration ;
 - Aérodrome ;
 - Centraux téléphoniques.

3. Définition des aléas

3.1. Description et principe de fonctionnement du système hydrologique

3.1.1. Description du réseau

Le Brivet, dernier affluent rive droite de la Loire, rejoint celle-ci au droit de son estuaire. Son bassin versant, d'une superficie d'environ 800 km² au droit de la RN171, se situe au nord de la Loire et de la ville de Saint-Nazaire. Assimilable à un demi-cercle ayant la RN171 pour diamètre, il est principalement constitué d'une zone périphérique dont l'altitude ne dépasse pas 75 m et d'une zone centrale basse constituée d'une succession de marais représentant le quart de la superficie totale.

Par suite de sa faible pente (de l'ordre de 5 mm par km), de la présence des marais et de nombreux ouvrages hydrauliques, le fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique du Brivet est particulièrement complexe. Il existe ainsi de nombreux points d'échanges, dont certains contrôlés par des ouvrages (écluses, vannes,..) et d'autres non, entre les zones de marais et les axes principaux de drainage. Ces axes principaux de drainage et leurs exutoires en Loire, sont au nombre de quatre. Le Brivet proprement dit constitue l'axe principal dont l'exutoire se situe en aval immédiat du Pont de Saint-Nazaire. Les canaux du Priory, Martigné et de la Taillée, constituant les trois autres axes, ont leurs exutoires situés entre Lavau et Saint-Nazaire. Afin d'éviter les remontées d'eaux salines et contrôler les échanges avec la Loire, tous les exutoires sont actuellement équipés d'ouvrages motorisés (écluses). La figure 1 présente le bassin versant, les principaux axes de drainage, les principaux ouvrages et marais.

De l'amont vers l'aval, le Brivet alimente les marais :

- du haut Brivet (Marais de Campbon, grands marais, marais du Brivet, de la Rennais et de Balassons),
- de la Boulaie,,
- de Donges (marais de Besné et de Donges),
- et le marais de la Grande Brière Mottière.

L'ensemble de ces marais, regroupé depuis 1970 en parc naturel régional, constitue le deuxième marais de France.

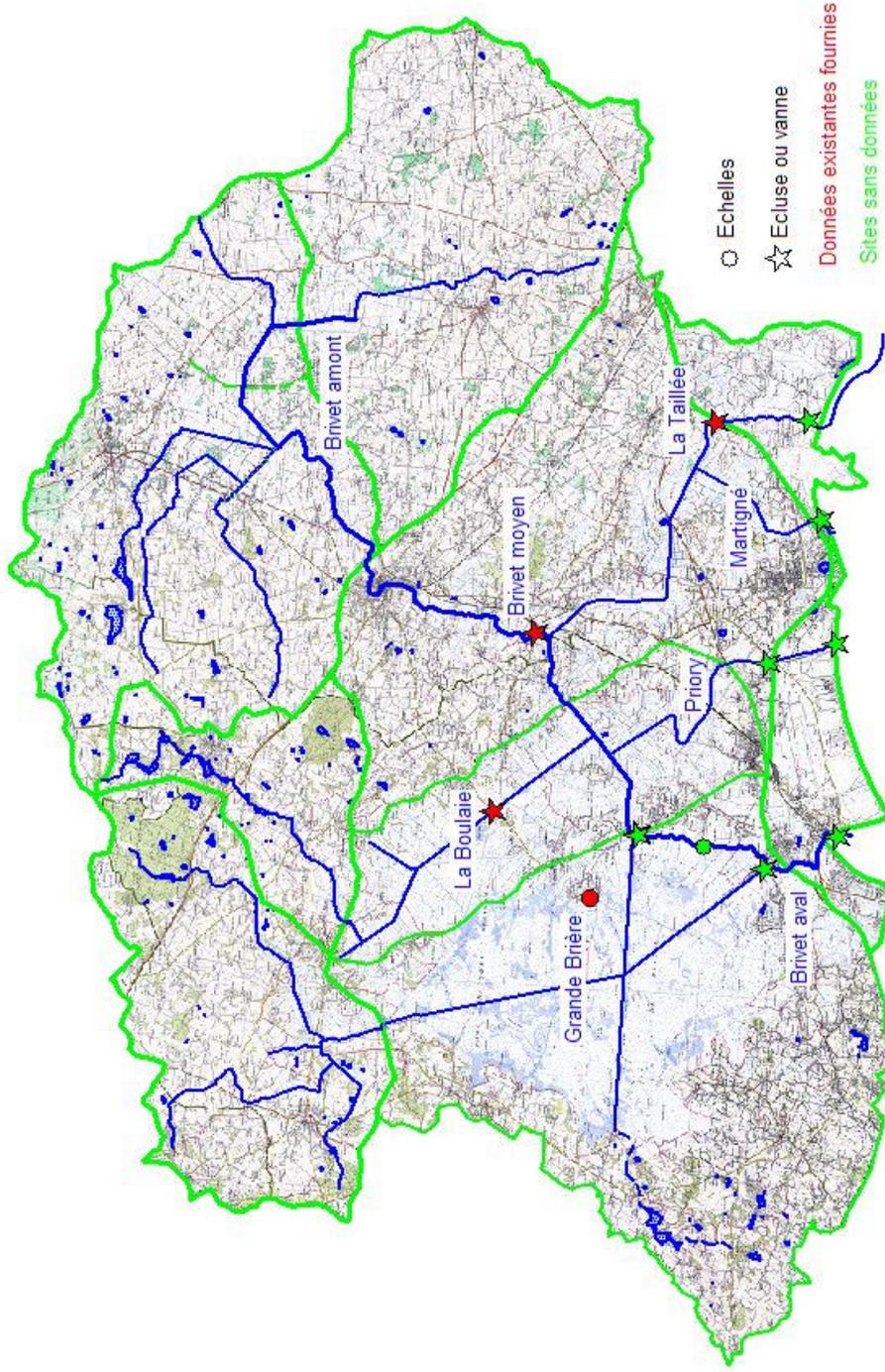


Figure 1 : Localisation des principaux ouvrages et décomposition en sous bassins (délimité en vert)

3.1.2. Fonctionnement hydrologique

Comme dans tout système, il convient pour définir globalement le fonctionnement de ce système hydrologique de définir les entrées, sorties et si possible les fonctions de transfert de ce système. Les entrées ne sont composés globalement que des précipitations. Les sorties sont plus diversifiées. Si certaines paraissent, lors des crues et dans ce contexte particulier de régulation par les marais, secondaires, voire négligeables, en regard des volumes mis en jeu (échanges : marais – nappes – mer), les principales semblent être : l'évaporation directe et les échanges superficiels Brivet – Loire.

Il en découle que les niveaux du Brivet et des marais sont directement dépendant des conditions météorologiques, précipitations et évaporation et/ou évapotranspiration, survenant sur le bassin versant mais qu'ils sont également liés à la gestion des différents ouvrages existants et des conditions de niveaux d'eau existants en aval des ouvrages exutoires. C'est pour cette raison que différents ouvrages ont été réalisés et que leur gestion a été définie. Ils doivent permettre de favoriser une régulation des niveaux, afin de satisfaire au mieux l'environnement et les différents usages des terres et des eaux de la zone concernée.

Ainsi, afin d'évacuer les apports importants dus aux pluies abondantes des mois d'hiver, les portes et vannes des ouvrages sont généralement, durant l'hiver et le début du printemps (jusqu'à atteinte des cotes d'exondations fixés par délibérations) :

- en position ouvertes, durant les heures de basse mer,
- en position fermées, durant les heures de pleine mer ou durant les crues significatives de la Loire (niveau de la Loire supérieur aux niveaux des exutoires).

Durant l'été, afin de maintenir un stockage maximal, les portes et vannes des différents ouvrages sont fermées. Suite à des niveaux très bas, une ré-alimentation des marais est cependant, parfois, rendue nécessaire. Cette ré-alimentation s'effectue par gravité, ou à défaut par la vis d'Archimède de l'ouvrage de Lavau, via un, voire des, exutoire (généralement par le canal de la Taillée), lors des niveaux hauts de la Loire. Ces niveaux peuvent être atteints lors d'une crue de la Loire (ré-alimentation en eau douce) ou lors de hautes eaux dues à la marée (ré-alimentation en eau saumâtre).

Le système hydraulique ainsi constitué, marais et ouvrages, permet ainsi de réduire les impacts des fluctuations climatiques (soutien des étiages au printemps et en été, et laminage des crues en hiver) tout en permettant une exondation relativement rapide, au printemps, afin de permettre la mise en culture des terres exondées.

Les précipitations d'automne et d'hiver, étant supérieures aux capacités d'exhaure du système, les niveaux des marais augmentent, le niveau maximal se situant généralement durant le mois de février, puis diminuent peu à peu, suivant la baisse des précipitations et l'augmentation de l'évaporation, jusqu'à un niveau minimal généralement situé en septembre.

3.2. Données collectées et caractéristiques climatiques

3.2.1. Données collectées

3.2.1.1. Ouvertures des vannes : échanges Brivet /Loire

Depuis que l'ensemble des exutoires sont équipées de vannes, les échanges entre Loire et Brivet ne peuvent s'effectuer que suite à une ouverture de ces vannes. Le débit d'échange est donc contrôlé par les vannes (dimensions) mais également par :

- les dimensions des différents canaux exutoires, qui par le fait des dépôts et dragages d'entretiens sont susceptibles d'évolution,
- les cotes des plans d'eau amont : les marais,
- par le différentiel entre le niveau amont et aval des ouvrages avals (écluses).

Si le principe de gestion des manœuvres de vannes est défini et connu et nous a été transmis (cf. ci-dessus), les heures et jours de manœuvres réelles de ces vannes ne nous ont pas été communiqués sur l'ensemble de la période d'observation des cotes échelles. Ces informations seraient, par ailleurs, très difficilement exploitables sur le plan quantitatif dans la mesure où elles nécessiteraient, pour être exploitées, différentes informations complémentaires telles que différences de niveaux amont-aval, caractéristiques et historiques des ouvertures existantes (différentes suivant l'ouvrage et la période), etc...

Sur le plan qualitatif, on peut cependant supposer que le nombre d'heures d'ouverture rendu possible par :

- les niveaux des marées est peu variable d'une année sur l'autre,
- les niveaux de crues de la Loire ne vont pas être fondamentalement différents et, en tout état de cause, représenter peu de variation d'influence sur l'ensemble de la période allant de septembre à février, voire mars.

Il faut par ailleurs préciser que le traitement statistique, qui est utilisé pour définir les côtes fréquentielles d'inondations, intègre, de facto, les influences de ce type ayant pu survenir durant la période d'observations utilisée.

S'il est exact que la Loire n'a pas connu de crue très exceptionnelle depuis un siècle, les conséquences des fermetures des vannes, lors de crue concomitante avec le Brivet, peuvent être évaluées comme équivalente à celles qui pourraient être générées par des incidents tels que blocage accidentel des vannes. Au vu de la superficie des marais et donc des volumes pouvant être régulés par le système, l'indisponibilité supplémentaire induites, sur la base de un, deux voire trois jours, d'évacuation des débits ne devraient pas entraîner de hausses supérieures aux incertitudes des données fournies ou des résultats obtenus.

Il apparaît donc raisonnable de considérer que les conditions actuelles d'échanges Brivet / Loire ne sauraient modifier fondamentalement les hauteurs d'inondations observées sur la période 1980-2003.

3.2.1.2. Dimensions des chenaux d'évacuation : exutoires

Les dimensions des principaux chenaux d'évacuations figurent dans un des rapports d'étude transmis : (Etude d'impact de l'aménagement hydraulique des marais du bassin versant du Brivet, cf. bibliographie).

D'après les données figurant dans ce rapport, la section utile à l'écoulement du Brivet aval serait de l'ordre de 80 m² (environ 40 m de large et 2 m de tirant d'eau). Avec une pente de 0,5‰. Cela laisse supposer un débit maximal voisin proche de 60 m³/s. La capacité de débit des autres exutoires paraît nettement inférieure et est difficile à estimer dans la mesure où les pentes sont, par endroits, négatives. Par ailleurs, ces canaux sont susceptibles de s'envaser et font l'objet d'un entretien plus ou moins régulier par dragage. Il résulte de ces observations que la capacité maximale d'évacuation du système n'est pas très importante (probablement inférieure à 100 m³/s) et fluctuante suivant les opérations d'entretien réalisées. Des aggravations et /ou diminutions des cotes d'inondations peuvent ainsi résulter, au fil du temps, de l'état spécifique de ces canaux. De même que pour le paragraphe précédent, Il faut préciser que le traitement statistique, qui est utilisé pour définir les côtes fréquentielles d'inondations, intègre, de facto, les influences de ce type ayant pu survenir durant la période d'observations utilisée, soit 1980/2003.

Dans le cadre de cette étude, les cotes d'aléas seront donc déterminées en considérant que les capacités d'évacuations des canaux seront équivalentes dans le futur à celles existant durant la période 1980/2003.

3.2.1.3. Données pluviométriques

Les données pluviométriques ont été collectées auprès de la banque de données, accessible par INTERNET, de METEO-France. Après avoir dresser la liste des stations existantes avec leurs principales caractéristiques (notamment la période d'observation), les données mensuelles des différentes stations pluviométriques suivantes ont été récupérées :

- Montoir, période 1957-2003,
- St Joachim, période 1976 – 2003,
- Nantes Bouguenais, période 1946-2002.

Il n'a pas été possible de trouver sur l'ensemble des stations, proche de la zone d'étude, de données pluviométriques pour l'année 1936. La station la plus proche disposant de ces données est la station de Nantes Observatoire. Nous avons donc procédé à la saisie des pluies mensuelles observées à cette station sur l'ensemble de sa période d'observation : 1851-1964.

Après analyse des différents fichiers, un fichier des pluies mensuelles a été constitué sur la plus grande période d'observation possible. Ce fichier, pouvant être considéré comme référence, est constitué des données mensuelles de :

- Montoir sur la période 1957-2003,
- Nantes Bouguenais sur la période 1946-1957, en appliquant une relation de passage : $\text{Pluie à Montoir} = 0.91 \times (\text{Pluie à Nantes}) + 4$
- Nantes Observatoire sur la période 1851-1945, en appliquant une relation de passage : $\text{Pluie à Montoir} = 0.96 \times (\text{Pluie à Nantes}) + 3,8$.

Les données d'évapotranspiration potentielles disponibles ont été collectées, comme pour les pluies, auprès de METEO-France. Il s'agit des données de la station de Montoir sur la période 1989-2003. N'ayant pas d'autres données, nous avons constitué un fichier sur la période 1851-2003 en complétant les années manquantes par les valeurs mensuelles moyennes inter- annuelles de la période 1989-2003.

Le tableau 1 en page suivante récapitule les moyennes et extremums mensuels de pluviométrie pour :

- la station de Montoir de Bretagne (1957-2002),
- la station de St Joachim (1976-2002),
- la station longue durée reconstituée sur la période 1851-2002.

Le tableau 2 en page suivante récapitule la moyenne et les extremums mensuels d'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de PENMANN MONTEITH par la météorologie Nationale à la station de Montoir sur la période (1989-2003).

Ces tableaux permettent de constater :

- que les variations pluviométriques sont faibles entre les différentes stations et les différentes périodes,
- que la pluviométrie est répartie tout au long de l'année avec cependant des valeurs globalement deux fois plus importantes en hiver (octobre à janvier) qu'en été (juin à août),
- une forte variation mensuelle inter annuelle avec des mois d'hiver comme d'été pouvant être secs (proche de zéro) à très humide (valeur minimale des maximum : 76 mm en août),
- une (relativement) faible variation inter annuelle des valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle,
- que la pluviométrie moyenne annuelle est sensiblement équivalente à la valeur calculée moyenne de l'évapotranspiration potentielle.

D'après la série reconstituée sur la période 1851-2003, les pluviométries annuelles les plus fortes se seraient produites respectivement en 1852 (1115 mm), en 1960 (1104 mm) et 1865 (1075 mm), l'année 2000 se classant en quatrième position (1073 mm). Ce classement est cependant complètement changé si l'on effectue les calculs en année hydrologique (septembre à août), les plus fortes valeurs étant alors obtenues en 2000-2001 (1290 mm), 1911-1912 (1193 mm), et 1865-1866 (1150 mm).

Station	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Déce	Annuel
min	11.2	0.9	2.0	1.4	8.7	0.4	4.1	2.2	4.1	4.0	5.5	6.9	468.7
Montoir 1958-2002	83.8	69.1	58.7	54.3	61.6	44.6	37.7	43.0	64.8	89.1	89.2	91.3	787.4
Max	187.7	142.7	165.2	161.6	204.1	142.5	137.9	116.5	194.8	224.3	216.5	224.3	1104.1
min	8.5	6.7	6.0	0.8	11.3	2.1	7.1	3.1	3.3	5.4	7.9	8.0	550.4
St Joachim 1976-2002	88.9	72.8	60.5	58.0	65.4	45.5	41.2	34.4	68.0	96.9	86.6	101.8	819.9
max	203.5	146.8	177.0	176.6	203.0	124.2	102.0	76.0	180.2	232.7	203.8	168.6	1096.4
min	9.8	0.9	2.0	1.4	8.7	0.4	4.1	0.4	4.1	4.0	5.0	6.9	440.6
Série Recons. 1851-2002	76.6	62.3	59.6	53.7	60.0	51.7	48.2	51.3	64.0	87.6	86.9	87.6	789.3
max	200.0	186.1	165.2	161.6	204.1	149.2	137.9	169.3	194.8	247.2	223.2	249.1	1115

Tableau 1 : Précipitations extrêmes mensuelles et moyennes mensuelles inter annuelles aux différentes stations

Station	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Déce	Annuel
min	9.4	12.1	41.6	62.7	94.4	104.9	108.8	105.5	57.4	33.5	8.3	5.5	744.5
Montoir 1989-2002	12.8	21.3	50.1	74.6	112.8	125.3	135.9	122.2	76.8	40.0	14.8	10.4	796.9
Max	20.5	36.4	57.6	100.5	135.1	140.2	156.7	138.5	90.4	47.5	22.0	17.4	861.8

Tableau 2 : Evapotranspiration potentielle (formule de PENMANN MONTEITH) extrêmes mensuelles et moyennes mensuelles inter annuelles calculées à la station de MONTOIR sur la période 1989-2002

3.2.1.4. Données limnimétriques

Les données limnimétriques ont été fournies au pas de temps mensuel (hauteur maximale mensuelle et hauteur le premier jour du mois) par le Parc Naturel Régional (PNR). Un nivellement des différentes échelles a été réalisé par le PNR et les données ont été fournies en cote IGN Lallemand (ancienne échelle NGF). Elles concernent, sur la période d'observation 1980 – 2003, les stations suivantes :

- la Grande Brière à Fédrun,
- le canal de la Boulaie au Pont de l'Isle,
- le canal de la Taillée au vieux pont,
- le Brivet moyen à la Guesne.

Les emplacements de ces stations sont reportés sur la figure 1 (en rouge). Les différents tracés (figure 2) des valeurs maximales mensuelles observées aux quatre stations principales permettent de constater, après 1996, un changement. Si avant 1996, les cotes maximales et les cotes relevées le premier jour du mois sont toutes observées à la station de 'Vieux pont' sur le canal de la taillée, ces mêmes cotes sont, depuis, généralement observées, une fois sur deux, à cette station et une fois sur deux à la station du Brivet moyen à 'la Guesne'.

Il est ainsi vraisemblable de supposer, sauf s'il y a erreur de lecture et/ou de référentiel, que les écoulements ont été perturbés suite à des modifications locales (dragage, nettoyage du lit, influence de nouveaux ouvrages,... ?). Ce point mériterait une analyse historique des opérations réalisées afin d'explicitier au mieux cette modification de fonctionnement hydraulique.

Par ailleurs, si les dates des cotes maximales annuelles observées sont généralement voisines (décalage imputable au temps de transfert des débits et à l'inertie du système) entre les différentes stations, on peut néanmoins constater pour certaines années un décalage temporel important entre les cotes maximales observées à la station de la Taillée et les cotes maximales observées aux autres stations, notamment entre 1991 et 1996.

Afin de cerner la durée des inondations les pluies mensuelles et les cotes observées le premier du mois à la station de la Grande Brière à Fédrun, lors des années particulièrement pluvieuses, ont été reportées sur la figure 3.

Cette figure permet de constater que la durée des inondations dépend de la durée et du montant des pluies mais également que l'inertie du système implique une montée et une descente relativement lente.

Les inondations ainsi générées sont donc des inondations de longues durées, la cote à Fédrun a été supérieure à 1,2 m pendant plus de quatre mois en 2001 et pendant près de deux mois en 1995.

En dehors de la période de suivis des cotes limnimétriques (1980-2003) pendant laquelle on notera les niveaux exceptionnels atteints durant les années 2001, 1995 et 1988, les informations fournies et localement collectées font état, **par ordre d'importance décroissante, des crues des années :**

1936, 2001, 1961, 1995, 1988.

La crue de 1936 aurait été, d'après ces mêmes informations, supérieure à celle de 2001 d'environ 20 cm, la crue de 1961 était légèrement inférieure.

3.2.1.5. Autres données

Hormis l'image de la crue de 2001, aucune image satellitale ni photographie aérienne verticale réalisée durant un épisode de crue n'a pu être recensée.

Un recherche de 'documents historiques' a été réalisés auprès de différents organismes (archives départementales, journaux,..).

Les rapports d'études antérieures, transmis par la DAF, figurent dans la bibliographie.

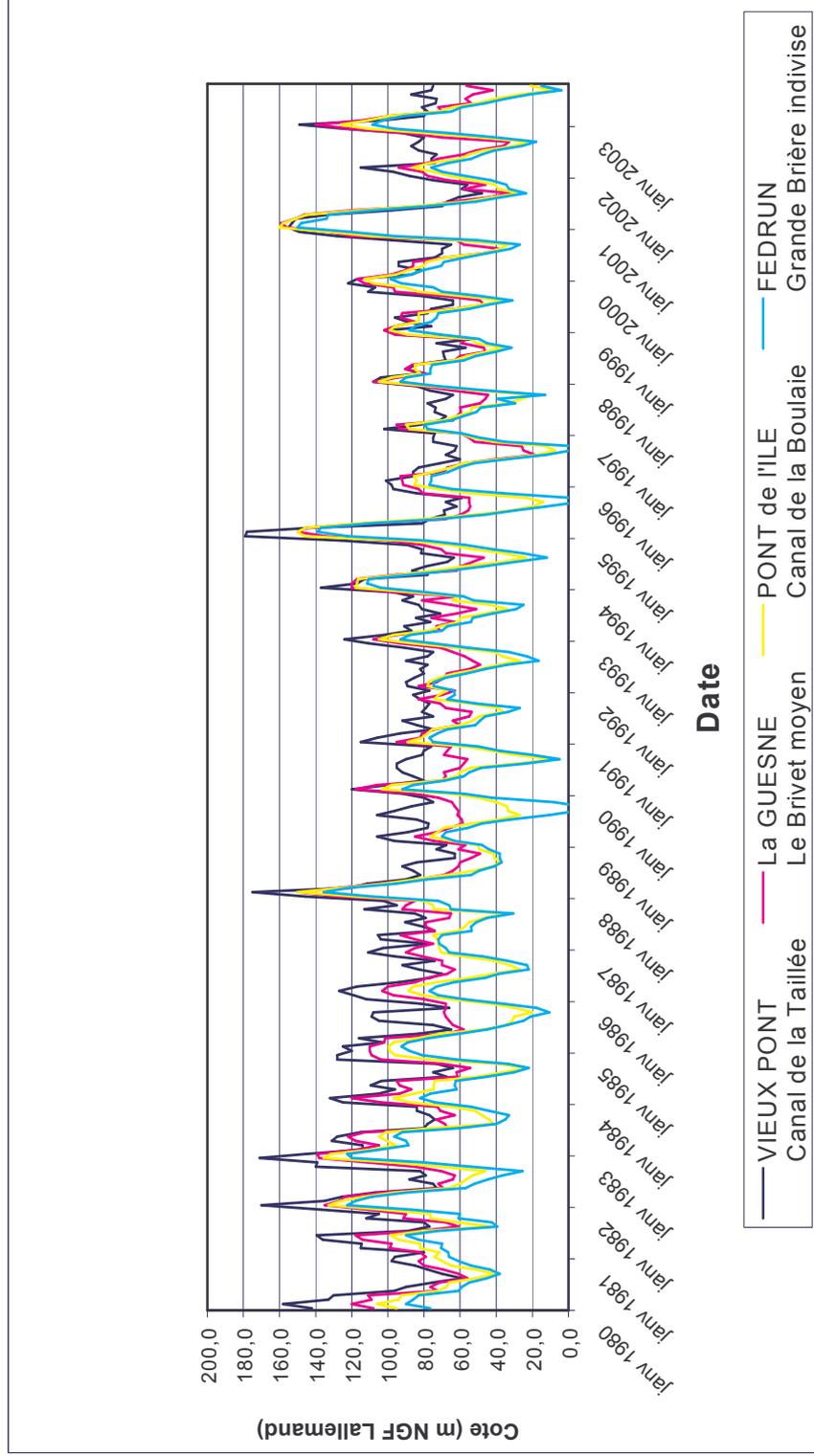


Figure 2 : Valeurs maximales mensuelles des cotes observées aux différentes stations des marais

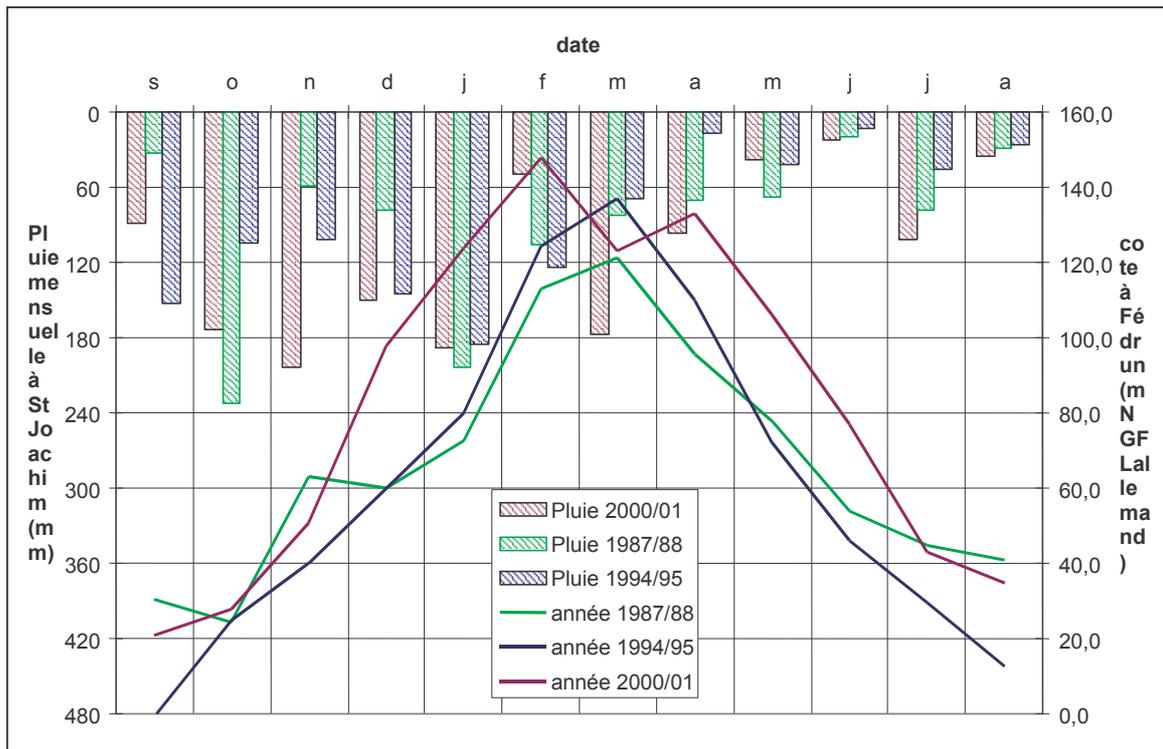


Figure 3 : Pluies mensuelles observées à Saint-Joachim et cotes observées le premier du mois à Fédrun lors des années humides

3.2.2. Analyses des relations pluie – cote maximale

Après analyse des données, nous avons cherché à obtenir une corrélation directe satisfaisante entre les pluies mensuelles relevées à St Joachim et les cotes maximales mesurées à la station limnimétrique de la Grande Brière à Fédrun sur la période commune d'observation (1980/2002).

Cette relation (figure 4) a été obtenue en corrélant les cumuls pluviométriques des mois compris entre septembre et le mois de la cote maximale observée à Fédrun.

Cette corrélation, réalisée avec 23 valeurs (1) fournit un coefficient de corrélation de 0,915. Il pourrait probablement être amélioré en remplaçant les valeurs de cumuls pluviométriques par les valeurs de cumuls de pluies efficaces (pluie diminuée de l'évapotranspiration potentielle) si l'on disposait de l'ETP sur l'ensemble de cette période (2).

Remarques :

(1) : La valeur maximale de 1981 s'étant produite en juin, ce point a été écarté.

(2): Cette vérification a été réalisée sur la période 1990-2003 et a permis d'améliorer le coefficient de corrélation de 0,956 à 0,961.

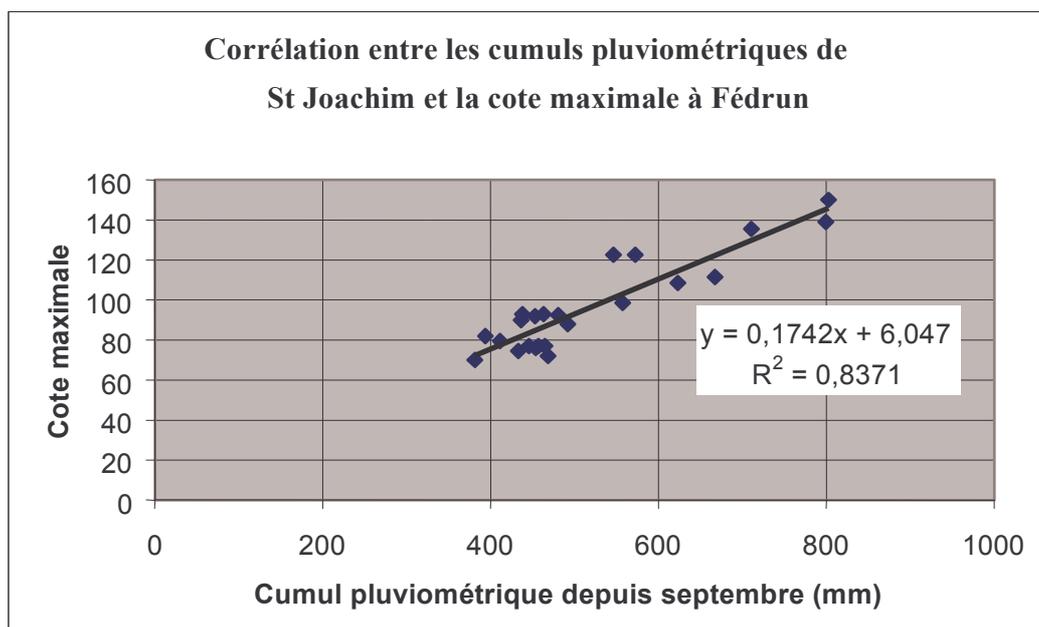


Figure 4 : Corrélation entre les cumuls pluviométriques de Saint-Joachim et la cote maximale annuelle observée à Fédrun

Il faut également noter que sur 24 années, la cote maximale observée à Fédrun l'a été 9 fois en janvier (généralement après le 15), 9 fois en février, 5 fois en mars et une seule fois en juin.

3.3. Modélisation GARDENIA

3.3.1. But de la modélisation

Des modélisations GARDENIA ont été entreprises au droit des différentes stations limnimétriques afin de :

- vérifier la cohérence des données (pluie, évapotranspiration et limnimétrie),
- calculer les pluies efficaces,
- étendre par simulation, si la reconstitution des données sur la période d'observation est satisfaisante, les séries d'observations à l'aide des données pluviométriques et climatologiques disponibles.

Ceci afin de vérifier et valider les dates et l'importance des événements exceptionnels survenus durant la totalité de la période d'observation des pluies et permettre ainsi une meilleure estimation statistique des valeurs fréquentielles.

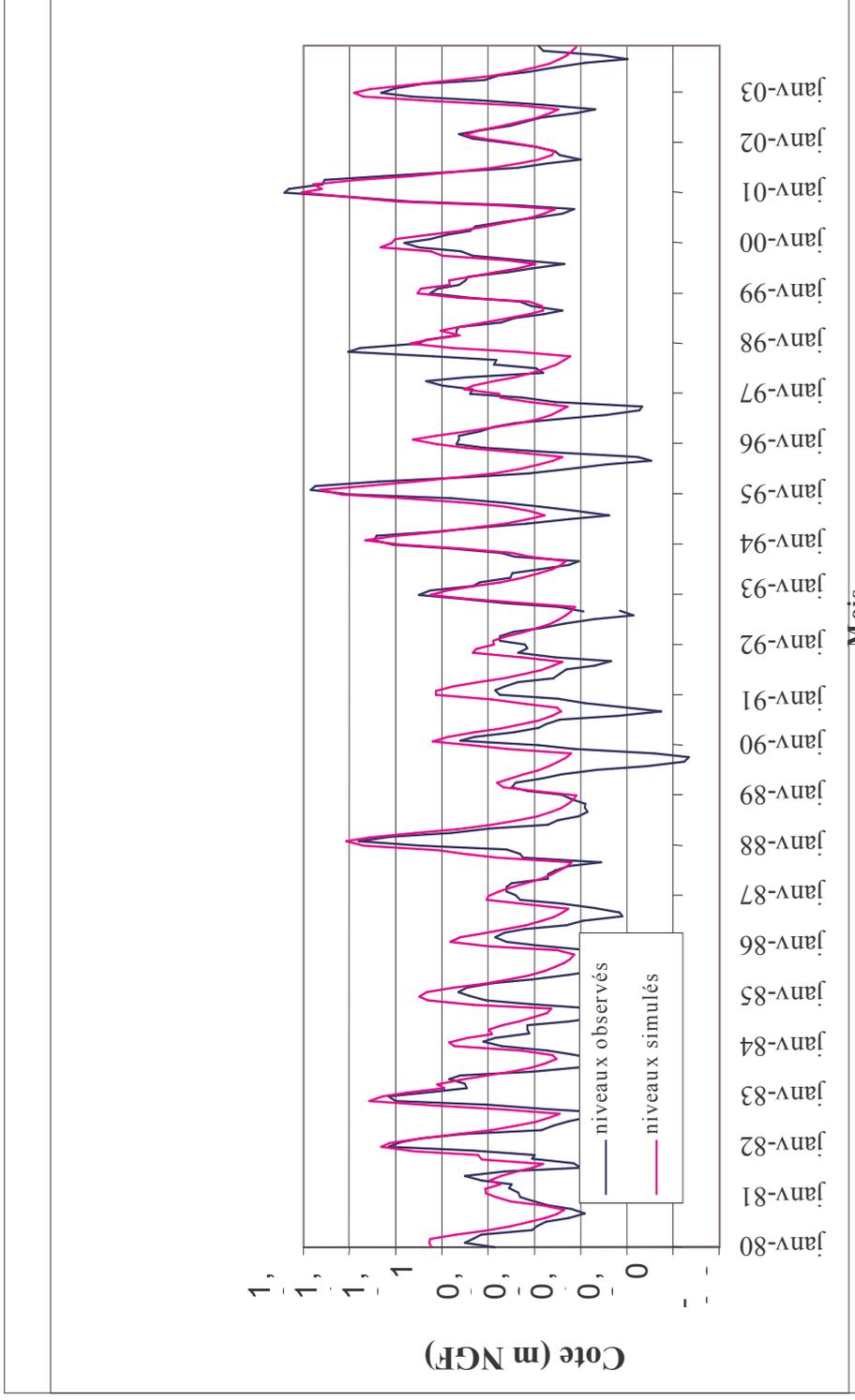
Le logiciel GARDENIA (cf. présentation en annexe) nécessite, en données d'entrée, des données pluviométriques et des données d'évapotranspiration potentielle. Les données nécessaires au calage peuvent être des débits ou des niveaux d'eau.

3.3.2. Calage des paramètres des modèles

Les paramètres des modèles ont été calés sur la période d'observations des limnimètres, c'est à dire sur la période 1980-2003, en utilisant en données d'entrée les fichiers de pluies mensuelles et d'évapotranspiration potentielle longue durée précédemment définie.

La figure 5 ci-dessous permet de comparer les niveaux maxima mensuels observés et simulés à la station de la Grande Brière à Fedrun. Les paramètres de calage ont été définis afin de reproduire prioritairement les niveaux maxima. Le coefficient d'ajustement obtenu est de 0,9.

Figure 5 : Modélisation GARDENIA : comparaison des niveaux maxima mensuels observés et simulés du marais de la Grande Brière (période 1980 – 2003)



Ces modélisations ayant été réalisé, au moyen d’une fonction de transfert, à seule fin de vérification de cohérence et d’extension des données, ils n’ont pas donné lieu à une quelconque analyse et/ ou interprétation physique.

3.3.3. Exploitation des résultats

3.3.3.1. Pluies efficaces

Le tableau 3 suivant récapitule, par ordre décroissant, le montant (en mm) et la date des différents cumuls maxima, pour différentes périodes, de pluies efficaces définies à l’aide de la modélisation Gardenia sur la période 1851-2003. La deuxième partie de ce tableau indique, par ordre décroissant, le classement et le montant du cumul correspondant aux pluies efficaces sur ces différentes périodes survenues lors des derniers évènements importants observés.

<i>Pas de temps</i> rang	Mois	Septembre à Décembre	Septembre à février	Année hydrologique
1 montant	12/1914 239	1960 431	2000/01	2000/01
2 montant	12/1959 214	1952 410	1960-61 593	1960/61 593
3 montant	11/1930 208	2000	1909-10 550	1911 567
2000/01 rang montant	8 (11/2000) 188	3 406	1 619	1 619
1994/95 rang montant	47	20 278	4 539	5 545
1987/88 rang montant	57	40 225	8 481	10 519

Tableau 3 : Principaux épisodes pluvieux importants simulés à l’aide de la modélisation GARDENIA sur 1851/2003 et comparaison avec les principaux évènements observés.

La comparaison de ce tableau avec les dates des principales crues recensées confirme le lien existant entre le montant du cumul pluviométrique sur la période s’étalant de septembre à février et l’importance des niveaux observés aux différentes stations, une pluviométrie (ou pluie efficace) exceptionnelle sur un mois ne suffisant pas cependant à générer des niveaux exceptionnels.

3.3.3.2. Comparaison des évènements exceptionnels simulés

Les tableaux ci-dessous récapitulent les différents niveaux maxima annuels simulés aux stations de la Grande Brière à Fédrun et du canal de la Boulaie au Pont de l'Isle, à l'aide du modèle Gardenia sur la période 1851/2003, et les niveaux observés correspondant durant la période 1980/2003.

3.3.3.2.1 Grande Brière à Fédrun

Année	Maximum Simulé	Maximum observé
2001	1,47	1,50
1961	1,46	1,39
1936	1,37	-
1995	1,36	1,39
1910	1,36	-
1919	1,32	-
1960	1,30	-
1873	1,27	-
1988	1,25	1,355

3.3.3.2.2 Canal de la Boulaie au Pont de l'Isle

Année	Maximum Simulé	Maximum observé
2001	1,56	1,60
1961	1,55	-
1936	1,46	-
1995	1,45	1,50
1910	1,44	-
1919	1,40	-
1960	1,40	-
1873	1,36	-
2000	1,36	1,33
1860	1,34	-
1883	1,34	-
1966	1,34	-
1952	1,34	-
1988	1,33	1,50

L'analyse de ces tableaux permet d'effectuer les remarques suivantes :

- les valeurs simulées sont inférieures aux valeurs observées,
- hormis l'année 1988, l'ordre des évènements simulés est conservé aux deux stations,
- hormis l'événement survenu durant l'année 1936 qui paraît sous estimé, l'ordre d'importance des évènements observés/ simulés est respecté.

3.4. Valeurs fréquentielles des cotes d'inondation

3.4.1. Estimation fréquentielle des crues observées

Des ajustements fréquents ont été réalisés avec les données observées et avec les données simulées.

Les périodes de retour des crues observées à l'aide des deux ajustements sont indiquées dans le tableau ci dessous.

Crue	Période de retour (ajustement valeurs observées.) en année	Période de retour (ajustement valeurs simulées) en année
2001	48	225
1995	17	59
1988	13	17

Suite à ce tableau, il apparaît que la simulation des niveaux en Brière, même si elle permet de vérifier la cohérence des données, n'apporte pas d'information complémentaire indiscutable (crue de 1936, non simulée). Pour cette raison, il paraît plus sécuritaire de définir la valeur centennale des inondations à l'aide des valeurs mesurées. D'après l'ajustement réalisé sur les valeurs observées, la 'crue de 2001' a une période de retour proche de 50 ans.

3.4.2. Valeurs fréquentielles des principaux niveaux

Les valeurs fréquentielles ont donc été déterminées à partir des valeurs mesurées. Le tableau présente l'ensemble de ses valeurs avec leurs intervalles de confiance à 80%.

Station	Période de retour (en année)	10	20	50	100
		Val. Min.	1,25	1,32	1,41
Grande Brière		1,32	1,41	1,51	1,57
	Val. Max	1,42	1,52	1,63	1,71
Canal de la Boulaie	Val. Min.	1,34	1,42	1,50	1,56
		1,42	1,50	1,60	1,66
	Val. Max	1,51	1,61	1,73	1,80
	Val. Min.	1,54	1,63	1,72	1,79
Canal de la Taillée		1,63	1,72	1,83	1,90
	Val. Max	1,74	1,85	1,98	2,06
Brivet moyen	Val. Min.	1,39	1,46	1,53	1,58
		1,45	1,53	1,61	1,67
	Val. Max	1,54	1,62	1,72	1,79

Tableau 4 : Valeurs fréquentielles des cotes d'inondations au droit des quatre stations suivies (ajustement sur la période d'observation 1980/2003).

Ces valeurs constituent les valeurs fréquentielles de référence, sous réserve qu'il n'y ait pas de :

- changement climatique majeur,
- d'importantes modifications des conditions d'écoulement (ajout d'ouvrages et/ou recalibrage des canaux,

N.B. : Les valeurs fréquentielles au droit de la station de la Taillée ont été déterminées avec la totalité de la période d'observation, cela revient à considérer que les conditions de fonctionnement d'avant 1996 sont susceptibles de se reproduire. La valeur fréquentielle pour la période de retour 100 ans paraît ainsi sécuritaire.

3.5. Conclusion sur le fonctionnement hydrologique du système et sur les niveaux d'aléas

D'après les informations actuellement disponibles et les analyses précédemment réalisées il ressort que les crues pouvant survenir sur le bassin versant du Brivet sont de deux types bien différents suivant leur localisation :

- courtes (quelques heures), relativement violentes mais très localisées en amont des ouvrages de franchissements dans les parties amont des bassins versants. Elles sont la conséquence du ruissellement rapide des précipitations et de la formation d'éventuels embâcles au droit de ces ouvrages. Elles peuvent survenir en hiver mais surtout durant les orages d'été.
- très longues (plusieurs mois), très étendues mais sans danger destructeur. Elles se situent dans la partie aval des bassins. Ce sont des inondations par montée exceptionnelle des niveaux d'eau dans les marais. Elles sont la conséquence d'un cumul pluviométrique important entre les mois de septembre à février voire mars. Le maximum de ces inondations survient généralement entre la troisième semaine de janvier et la fin mars, exceptionnellement en dehors de cette période. Les cotes fréquentielles maximales sont, d'après la période d'observation disponible et sous réserve d'aucun changement climatique ni modification importante des caractéristiques hydrauliques des exutoires, indiquées dans le tableau ci-dessus.

4. Cartographie des aléas

4.1. Analyses des données disponibles

4.1.1. Imageries satellitaires

Des images, obtenues par télédétection spatiale, montrant l'étendue des inondations du secteur lors de la crue exceptionnelle de l'hiver 2000/2001 ont été collectées puis analysées lors d'une étude spécifique réalisée en 2001. Cette étude, réalisée dans le cadre d'une convention entre le PNR et le laboratoire Géolittomer de Nantes, a permis de définir une estimation relativement précise des zones inondées quelques jours après le niveau maximal atteint lors des crues de 2001 (cf. rapport, bibliographie).

4.1.2. Collecte et analyse des MNT

Contrairement à la méthodologie généralement proposée et préconisée pour la réalisation de PPR il est apparu indispensable, vu le peu de données topographiques au sol, la faible pente des cours d'eau et le peu de dénivellée générée par les ouvrages, d'utiliser la totalité des données topographiques existantes et de s'adjoindre, en plus du scan au 1/25000 ° de la carte IGN de la zone d'étude, le modèle numérique de terrain de l'IGN disponible sur l'ensemble de la zone d'étude. S'il n'est pas envisageable d'utiliser directement ce modèle numérique, fournissant des altitudes au décimètre mais garantissant une précision de l'ordre du mètre, pour définir les zones d'aléas au droit des marais, il est apparu cependant intéressant de l'utiliser « en cote relative » à l'aide d'un calage réalisé à partir de l'imagerie satellitaire de 2001.

Le but de cette démarche était de définir et/ ou vérifier, à l'aide de la zone inondée définie par imageries satellitaires :

- les différences altimétriques entre MNT et échelles limnimétriques,
- la décomposition des zones inondables en différents casiers,
- les cotes moyennes des différents plans d'eau correspondant à la crue de 2001,
- estimer la sensibilité des résultats.

Ce modèle numérique, tiré de la BD ALTI de l'IGN au pas de 50 m et comportant des altitudes fournies au décimètre, est apparu satisfaisant et conforme au SCAN IGN pour les altitudes égales ou supérieures à 5 mètres mais a cependant montré, après examen, des incompatibilités dans certaines zones de faibles altitudes avec :

- le SCAN IGN au 1/25 000°,
- la carte des zones inondées observées par télédétection.

Ces incompatibilités sont localisées principalement en trois endroits (cf. figure 7) :

- le long du Brivet moyen (entre Pontchateau et Besné),
- dans la partie inondée avale du marais de la Grande Brière, plus précisément dans la zone délimitée par St Malo de Guersac- Montoir de Bretagne- St André des Eaux,
- dans la partie inondée avale du marais de la Boulaie, plus précisément dans la zone délimitée par St Malo de Guersac- Montoir de Bretagne- le Souchet-Revin.

Ces incompatibilités se traduisent, dans le MNT BD ALTI, par des cotes nettement supérieures à celles indiquées sur le scan 1/25000°, cotes ne permettant pas une inondation lors de la crue de 2001. La figure 6 ci dessous illustre, à titre d'exemple, la différence entre les valeurs de la BD ALTI, indiquées en rouge en décimètre (soit proche de 4 m NGF) encadrée par trois valeurs ponctuelles du scan 1/25000 ° indiquées à un mètre dans une zone inondée lors de la crue de 2001 (côte observée à l'échelle de Fédrun : 1.5 m NGF Lallemand).

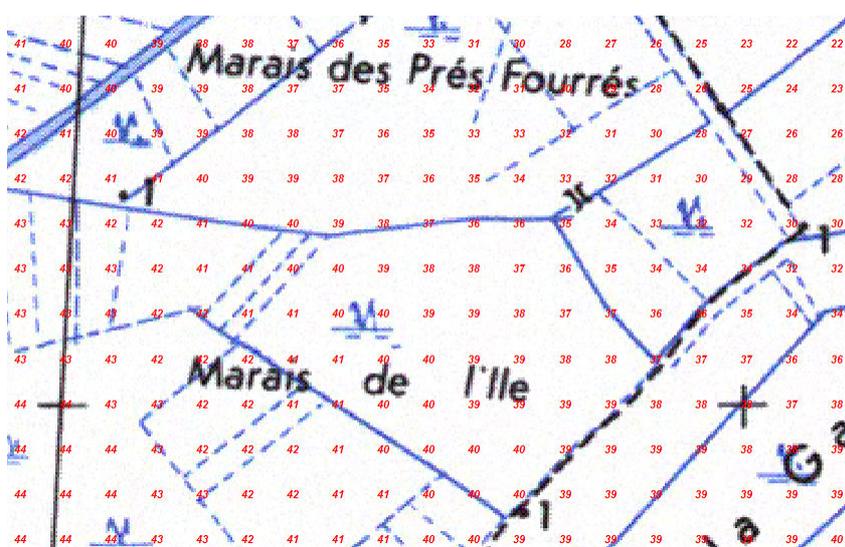


Figure 6 : illustration des différences entre BD ALTI et scan 1/25000°.

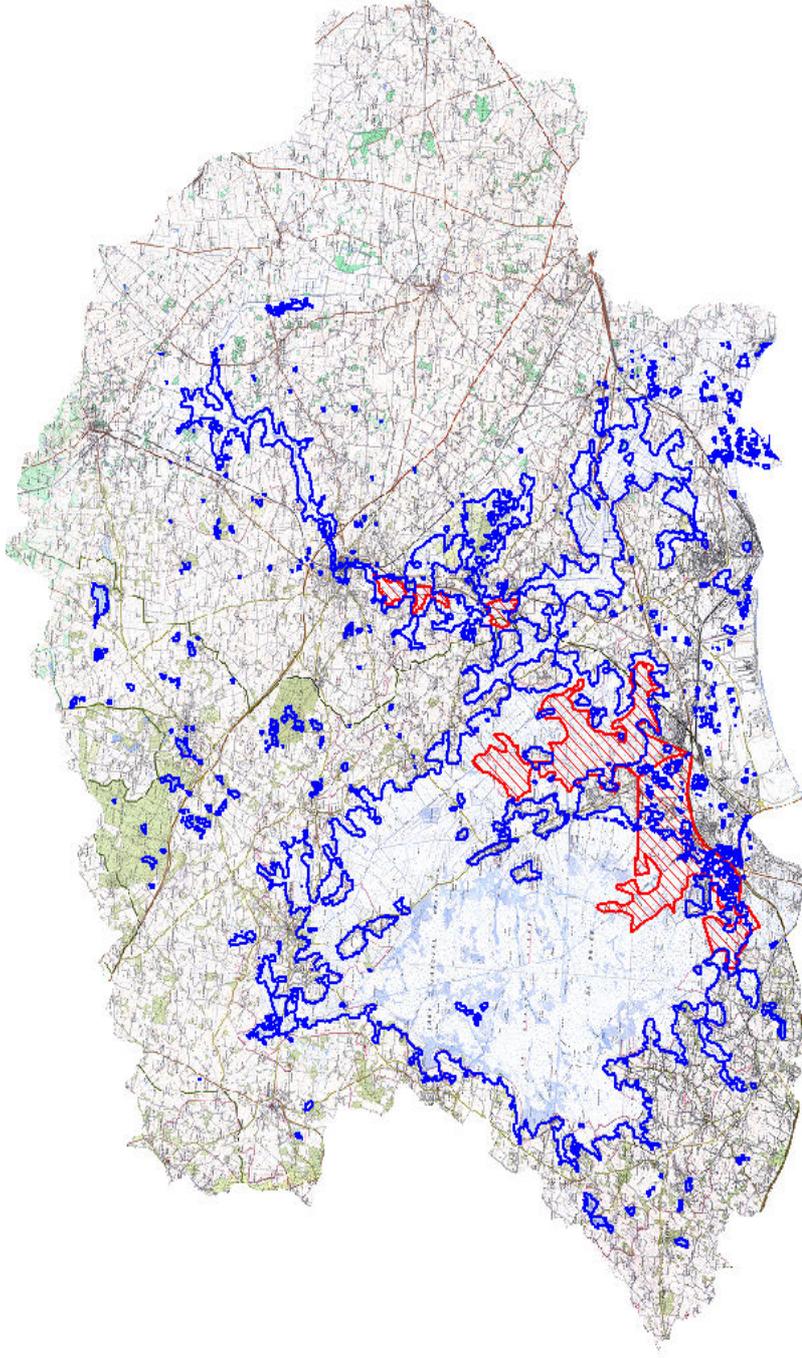


Figure 7 : Localisation des zones d'incompatibilité (zones rouges) entre MNT BD ALTI et zones inondables durant la crue de 2001 observées par télédétection (zone bleue)

Suite à ce constat et afin de corriger le MNT BD ALTI, l'IGN nous a transmis la partie disponible du MNT de la BD TOPO, réalisé à partir de levés différents. Le MNT de la BD TOPO a été réalisé au pas de 25 m avec une altimétrie indiquée en décimètre.

Après analyse, il s'est avéré, malgré une amélioration sensible, que les indications fournies par ce MNT comportaient encore des incertitudes suffisamment importantes pour empêcher tout calage entre zone inondée observée en 2001 et cote du MNT. Ce modèle ne couvrant qu'une petite partie de la zone concernée par les incompatibilités, il a été choisi de continuer à exploiter le MNT BD ALTI en faisant abstraction de l'ensemble de cette zone.

4.2. Calage du MNT : Crue de 2001 – détermination de la cote des plans d'eau

Afin de définir la cote des différents plans d'eau, le MNT de la partie avale a été décomposé en trois sous bassin principaux :

- la Grande Brière,
- la Boulaie,
- le Brivet intermédiaire et la Taillée.

4.2.1. Marais de Grande Brière, de la Boulaie, de la Taillée et Brivet moyen

Afin de définir la cote MNT la plus représentative des niveaux d'eau existants lors des observations satellites de 2001 nous avons déterminé, pour chacun de ces sous bassins, la moyenne de l'ensemble des cotes MNT correspondant aux intersections entre la surface inondée et le MNT. Le tableau, ci dessous, récapitule par sous bassin, la moyenne et écart type des cotes ainsi obtenues et indique les cotes échelles mesurées lors des observations satellites de 2001.

Sous bassin	Cote moyenne du MNT	Ecart type	Cote échelle observée
Grande Brière	2.20	0.88	1.43
La Boulaie	2.13	0.73	1.51
Brivet moyen et la Taillée	2.11	0.91	1.51

Tableau 5 : comparaison des cotes des plans d'eau obtenues par le MNT et cotes échelles observées

Malgré l'élimination, dans ce traitement, de la zone où la qualité du MNT n'est pas satisfaisante on observe des écarts type importants. Ils s'expliquent principalement par :

- la forte imprécision des mesures altimétriques du MNT dans cette plage d'altitude,
- les fortes variations altimétriques induites par un faible variation en x ou en y de la zone définie comme inondable. La différence de cote entre la cote moyenne obtenue et la cote échelle observée peut s'expliquer par :
- le décalage entre le référentiel utilisé pour les échelles limnimétriques (IGN Lallemand) et le référentiel IGN (différence voisine de 0.28, voire 0,29 m),
- un décalage moyen entre cote MNT et cote réelle dans le référentiel IGN.

Ces différences de cotes sont d'ailleurs confirmées par les cotes de laisses de crues mesurées sur le terrain (cf. figure 8).

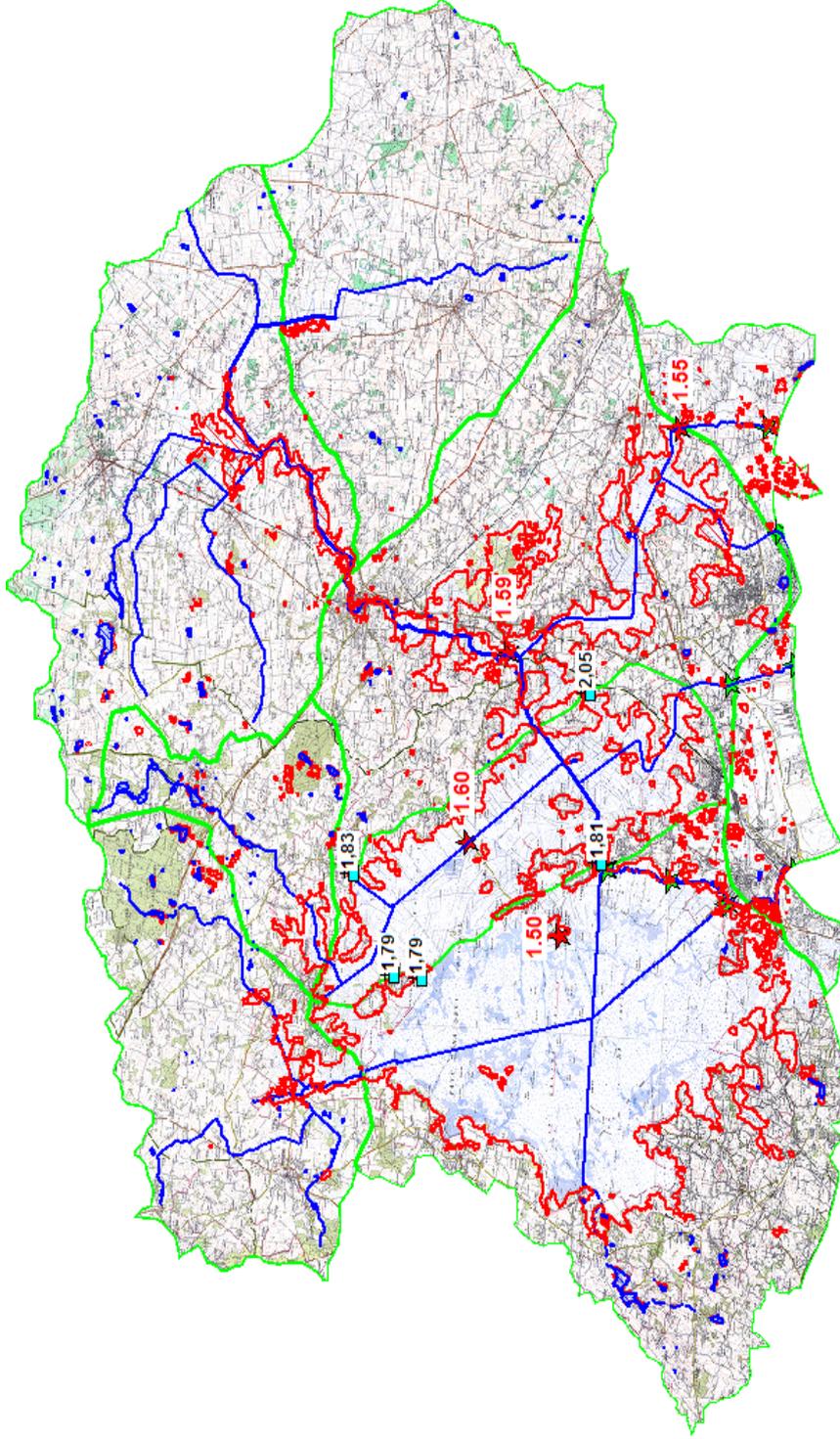


Figure 8 : Décomposition en sous bassins (délimité en vert) – Crue de 2001 : Comparaison des cotes maximales observées aux échelles (rouge) avec les laisses de crues mesurées en m NGF (noir)

Suite à cette analyse, il a été considéré que l'ensemble de la partie avale inondée lors de la crue de 2001 correspondait à une cote MNT de 2,1m. La figure 9 permet ainsi de comparer pour la partie avale du bassin versant (zones des grands marais) pour la crue de 2001, les inondations observées et les inondations définies avec le MNT ainsi calé. On constate que les zones ainsi définies, excepté la zone due au problème lié au MNT déjà abordé précédemment, cernent relativement bien les zones inondées définies par exploitation des photos satellites pour les marais de la Grande Brière, la Boulaie et la Taillée.

La figure 10, agrandissement de la figure 9, permet de comparer le tracé des inondations observées en 2001 dans la zone de Trignac avec les plans d'eau correspondant aux cotes 1,8 et 2,1 du MNT et localiser les maisons inondées en 2001. Hormis au droit de la zone d'absence de tracé MNT, les résultats obtenus paraissent relativement cohérents avec les observations réalisées.

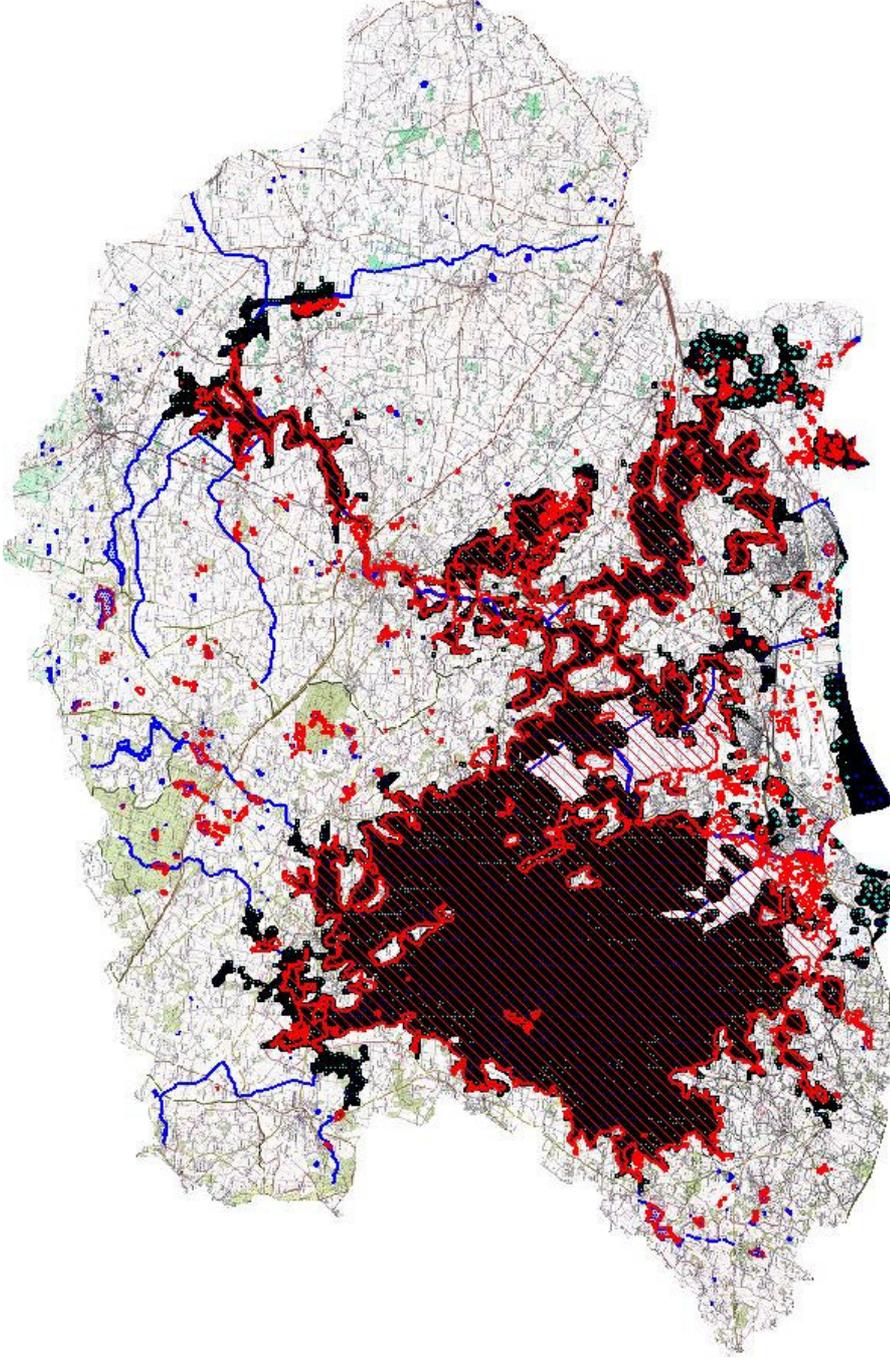


Figure 9 : Comparaison des zones inondées lors de la crue de 2001 définie par satellite (rouge) et à l'aide du MNT calé (cote NGF de 2,1 m)

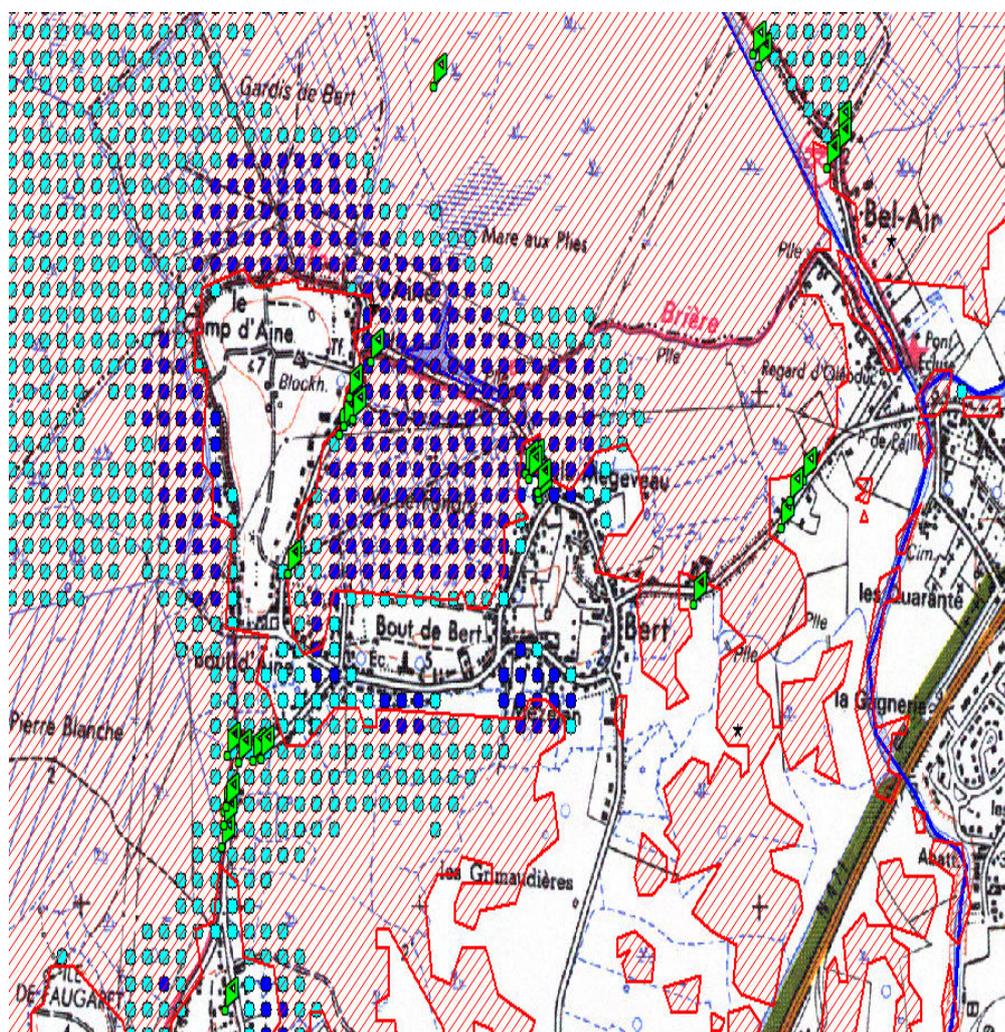


Figure 10 : Trignac : zone d'inondation lors de la crue de 2001 définie par satellite (rouge), localisation des maisons sinistrées (vert) et cote MNT 1,8 m (bleu foncé) 2,1 m (bleu clair)

Informations complémentaires

L'utilisation des différents MNT a permis de calculer, au droit des zones correctement définies par le MNT, les superficies et les volumes d'eau stockés pour les principaux marais.

Cote Brière (m NGF Lallemand)	Volume total (hm ³)	Grande Brière		Boulaie		Brivet moyen et la Taillée	
		Superficie (ha)	Volume (hm ³)	Superficie (ha)	Volume (hm ³)	Superficie (ha)	Volume (hm ³)
1,7	82	8450	54	3000	14,5	2250	13,5
1,5	54	7250	35	2450	9,5	1750	9,5
1,2	28,5	5000	19	1100	4	1000	5,5

Tableau 6 : Estimations des superficies inondées et volumes d'eau stockés des marais principaux

4.2.2. Marais situés en amont

Nous ne possédons pas d'informations sur les cotes atteintes au droit des parties amont des différents marais (amont Grande Brière, amont Boulaie, amont Brivet) ni au droit des marais situés en aval de la Taillée.

De plus, les observations fournies par le traitement de l'image satellite de 2001 ne constituent pas, pour ces zones, des informations très intéressantes dans la mesure où elles correspondent à des niveaux postérieurs, et bien inférieurs, aux niveaux maxima atteints lors de cet épisode.

4.3. Cartographie des aléas

4.3.1. Détermination des inondations décennales

Il avait été envisagé de produire sur la carte des aléas, l'enveloppe des inondations de fréquence décennale et centennale. Or avec les informations actuelles en notre possession, cela s'avère difficilement réalisable pour les raisons suivantes :

- A) pour la partie avale : il apparaît que la différence de niveau entre la crue décennale et la crue centennale (0,25 m environ) est relativement faible et que le tracé enveloppe est si proche qu'il est difficile de les distinguer sur le rendu cartographique général (1/25 000),
- B) Pour les parties amont : les niveaux pouvant être localement dus :
 - aux crues du bassin versant amont,
 - à la remontée de niveau aval,
 - à la combinaison des deux influences et,

ne disposant que de peu, voire pas d'informations quantitatives, notamment sur les débits de crues, il apparaît peu crédible de définir des niveaux pouvant être considérés comme décennaux.

4.3.2. Détermination des inondations centennales (cf. plan joint)

4.3.2.1. Zones aval

Le tracé des inondations centennales, au droit des marais de La Grande Brière, La Boulaie et La Taillée a été réalisé à partir du modèle numérique de terrain en considérant les niveaux MNT obtenus par le calage (cf. tableau ci-dessus) augmentés de la différence de niveau entre la valeur centennale définie au paragraphe 3.4.2 et la cote du marais correspondant, lue le jour de la réalisation de la photo satellite (crue de 2001). Les cotes ainsi obtenues figurent dans le tableau ci-dessous.

4.3.2.2. Zones amont

Pour définir les inondations centennales au droit des zones amont de marais, nous avons essayé d'intégrer, lorsqu'elles étaient disponibles, des informations qualitatives recueillies sur le terrain. Il s'agit principalement de la cote considérée par la population locale comme mettant à l'abri de la crue centennale au droit des champs captant de Campbon (4,5 m NGF).

Suite aux informations recueillies et aux observations de terrain montrant que beaucoup de routes du secteur sont généralement inondées lors des événements exceptionnels mais également afin de prendre en considération les possibilités d'obstruction des ouvrages par des embâcles, les zones situées en amont des ouvrages de franchissement, ont été considérées comme inondables. Par suite de la grande largeur disponible à l'écoulement après débordement, les cotes d'inondations, au droit de ces routes, vont très peu augmentées quelle que soit la fréquence de l'événement considéré. Les cotes d'inondations maximales pourraient être ainsi confirmées et/ ou précisées avec quelques informations quantitatives complémentaires non disponibles actuellement (principalement : les profils en long de ces routes).

Pour les zones où l'on ne disposait d'aucune information utilisable, le tracé des zones inondables a été réalisé à l'aide d'informations toponymiques et/ ou d'interpolation entre les informations disponibles en considérant que les principales pertes de charge (différence de niveaux) se situaient au droit des ouvrages de franchissement.

L'analyse de la topographie des zones inondables montre toutefois qu'une différence d'estimation de cote de la crue centennale n'a, dans les zones amont qu'une faible incidence (sauf en fond de vallée) sur la superficie définie comme inondée.

4.4. Niveaux retenus pour la définition de l'aléa

Pour définir les zones inondables d'enveloppe centennale, c'est à dire l'enveloppe des niveaux maxima atteints avec une fréquence centennale, nous avons donc exploité les modèles numériques de terrain des différents sous bassins (cf. figure 2) avec les niveaux indiqués dans le tableau ci-dessous.

Casier	Cote Brière	Cote MNT
Grande Brière	1,6 (1,57)	<i>2,3</i>
La Boulaie	1,7 (1,66)	<i>2,3</i>
Brivet moyen et la Taillée	1,9	<i>2,5</i>
Amont Grande Brière	1,7	<i>2,4</i>
Amont La Boulaie	1,8	<i>2,4</i>
Bas Brivet amont		
Aval D17	2,7	<i>3,0</i>
Amont D17	3,1	<i>3,4</i>
Haut Brivet amont	4,1	<i>4,4</i>
Bassin aval	1,7	<i>2,0</i>

Tableau 7 : Cotes utilisées pour le tracé de l'enveloppe des inondations centennales : crue de référence

NB : les cotes MNT indiquées en italique sont des valeurs de calages (déformation du MNT) et ne correspondent pas à des cotes réelles.

5. Superposition aléa - enjeu

Certaines zones à enjeu (regroupant notamment les secteurs urbanisés) sont comprises à l'intérieur du périmètre de la zone inondable par la crue de référence.

Il s'agit pour l'essentiel de :

- ✓ l'ouest du bourg de la Chapelle-des-Marais,
- ✓ la périphérie du bourg de Saint-Joachim,
- ✓ la périphérie de l'Ile d'Aignac au nord de Saint-Malo-de-Guersac,
- ✓ la périphérie du bourg de Besné,
- ✓ une partie non négligeable de Trignac (il s'agit toutefois principalement de zones urbanisables au POS de la commune, excepté « Bel-Air » qui l'est déjà),
- ✓ certaines zones urbanisables de Montoir-de-Bretagne.

Si la plupart des zones à enjeux déjà urbanisées se situent hors zones inondables, on peut toutefois remarquer qu'elles se situent généralement en limite de zone inondable (par exemple : Saint-Lyphard, Sainte-Reine-de-Bretagne, les hameaux de Saint-André-des-Eaux...). De ce fait, leurs zones potentielles de développement (urbanisation future) se trouvent restreintes par la proximité de ces zones inondables.

Il paraît toutefois nécessaire de souligner que le tracé de la zone inondable a été défini à partir d'un modèle numérique de terrain au pas de 50 mètres comportant des cotes altimétriques fournissant le décimètre mais ne garantissant une précision qu'au mètre. Il ne paraît donc pas envisageable de transcrire, sans contrôle altimétrique spécifique, directement cette information au niveau des parcelles.

Il convient également de signaler que, si de nombreuses parcelles peuvent être concernées par la crue de référence, des préconisations concernant par exemple une altitude minimale pour la réalisation des dalles et voies d'accès peut permettre une mise hors d'eau des biens et des personnes tout en acceptant une inondation temporaire des terrains avoisinants. Les cotes minimales étant fixées par secteur à la valeur de la crue de référence augmentées par exemple d'une marge de 0,20 m .

BIBLIOGRAPHIE

Pour une contribution à l'étude des inondations survenues lors de l'hiver 2000-2001 dans les marais du Brivet et du MES –
Géolittomer-Nantes-LETG-UMR 6654 CNRS – septembre 2001

Etude d'impact de l'aménagement hydraulique des marais du bassin du Brivet
Syndicat mixte pour l'aménagement du Brivet - DDAF Loire Atlantique
PB Environnement– Mai 1992

Etude Hydraulique Pédologique Agro-économique des Marais du Bassin du
Brivet - Union des syndicats du marais du bassin du Brivet - Département de
Loire Atlantique-
SETP/BCEOM – Octobre 1982

Etude de l'alimentation en eaux industrielles de la raffinerie de Donges – ANTEA
NATP020429 TOTAL FINA ELF – juillet 2003.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations d'ANTEA ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

Figures

(9 pages)

Annexe 1

Présentation du logiciel GARDENIA

(5 pages)



Fiche signalétique

Rapport

Titre : Etude Aléa-Enjeux du risque inondable en
Brière Loire-Atlantique

Numéro et indice de version : A34531 /B

Date d'envoi : 18 octobre 2004 Nombre d'annexes dans le texte : 2

Nombre de pages : 46 Nombre d'annexes en volume séparé : 0

Diffusion (nombre et destinataires) : *3 ex. client*

1 ex. service de documentation *3 ex. (unité)*

Client

Coordonnées complètes : DDAF de Loire-Atlantique
Service Aménagement et Environnement
12, rue Menou – BP 23523
44035 NANTES CEDEX 1

Téléphone : 02.40.12.38.18
Télécopie : 02.40.12.36.04

Nom et fonction des interlocuteurs : Monsieur F. LETOUZE

ANTEA

Unité réalisatrice : Agence Bretagne Pays-de-la-Loire

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

François-Xavier MOINET, interlocuteur commercial

Philippe SOLLSTEINER, responsable du projet

Christelle PLANÇON, auteur(s)

Brigitte SONNET, Secrétariat

Qualité :

Contrôlé par : Philippe STOLLSTEINER

Date : 23 juin 2004 - Version B

N° du projet : NATP030245

Références et date de la commande : du 19 septembre 2003

Mots-clés : Inondation, risque, prévention