



Norois

Environnement, aménagement, société

192 | 2004/3

La Loire. Sociétés, risques, paysages, environnement

Géographie de l'inondation des marais de la basse-Loire : l'exemple de la crue de l'hiver 2000-2001

Geography of the flooding of the lower Loire wetlands: the example of the winter floods of 2000-2001

Olivier Geffray et Loïc Ménanteau



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/norois/852>

DOI : 10.4000/norois.852

ISBN : 978-2-7535-1540-6

ISSN : 1760-8546

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2004

Pagination : 11-28

ISBN : 978-2-7535-0054-9

ISSN : 0029-182X

Référence électronique

Olivier Geffray et Loïc Ménanteau, « Géographie de l'inondation des marais de la basse-Loire : l'exemple de la crue de l'hiver 2000-2001 », *Norois* [En ligne], 192 | 2004/3, mis en ligne le 20 août 2008, consulté le 07 décembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/norois/852> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/norois.852>

Ce document a été généré automatiquement le 13 janvier 2022.

Tous droits réservés

Géographie de l'inondation des marais de la basse-Loire : l'exemple de la crue de l'hiver 2000-2001

Geography of the flooding of the lower Loire wetlands: the example of the winter floods of 2000-2001

Olivier Geffray et Loïc Ménanteau

NOTE DE L'ÉDITEUR

Cet article a été reçu le 7 avril 2004 et définitivement accepté le 22 juillet 2004.

Introduction

- 1 Délimiter les surfaces inondées des marais de la Basse-Loire (fig. 1) est une condition indispensable pour assurer une bonne gestion de territoires caractérisés par leur fragilité et leur dynamique, et dont la plupart (Brière, estuaire de la Loire, lac de Grand-Lieu, Goulaine et Brivet) font l'objet d'une procédure Natura 2000¹ en raison de leur intérêt international pour l'avifaune aquatique (Marion et Marion, 1975 ; Marion *et al.*, 1991 ; Marion, 1996).
- 2 L'homme est responsable, par son action, de l'accentuation du caractère pluvial de l'inondation saisonnière, surtout hivernale, de ces marais. En effet, leur hydrologie a été profondément modifiée par les aménagements hydrauliques (endiguements, canalisations, vannes, écluses) réalisés depuis le XVIII^e siècle (Ottman, 1981 ; Gras, 1984 ; Chardonnet, 1992a et 1992b ; Fattal, 2000 ; Le Marec, 2002 ; Aberlach-Mandy, 2001 ; Vauthier-Vezier, 2001), qui ont conduit à les isoler de l'estuaire proprement dit, et donc à les soustraire à l'influence des marées et des crues de la Loire. Depuis 1900, les débordements du fleuve sont contenus par des rives devenues, à plus de 80 %,

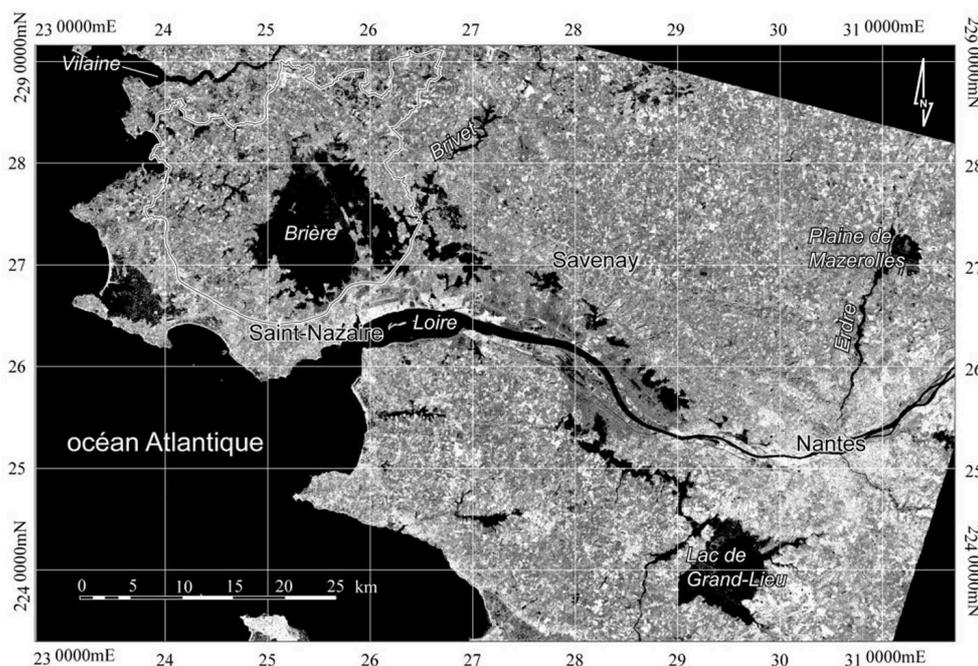
artificielles (Cheize, 1998). Le fonctionnement hydrologique dépend aussi de la gestion des niveaux d'eau qui est effectuée par les syndicats de marais (tableau 1), source de nombreux conflits entre les différents utilisateurs (agriculteurs, chasseurs, écologistes) du territoire. Ainsi, à Grand-Lieu, les amplitudes mensuelles de hauteur d'eau ont été fortement réduites, ce qui a provoqué une baisse sensible du niveau du lac et un développement de la végétation.

Tableau 1 : Les syndicats de marais de la Basse-Loire
The "Syndicats de Marais" of the Lower Loire

marais	syndicat	principales caractéristiques
Brière	syndicat mixte d'aménagement hydraulique du bassin du Brivet (SMAHBB, créé en 1992) ²	4 écluses (d'ouest en est) sur le Brivet, le canal du Priory, le canal de Martigné et le canal de la Taillé 2 autres écluses à Rozé, sur le Brivet, et à l'intersection du canal de la Boulaie
Nord Loire ³	syndicat des marais de Saint-Étienne-de-Montluc et de Couëron syndicat du marais du Syl syndicat du marais du Pré Neuf association syndicale du marais de Rohars association syndicale du marais de la Roche association syndicale des Prés de Loire Cordemaisiens syndicat du marais du Lot Arceau syndicat du marais du Couleuvrou syndicat du marais du Vair association foncière de la vallée de la Musse	13 écluses ou vannes principales (d'ouest en est) sur le canal de la Taillé, l'étier du Syl, sur le canal du marais de la Roche, 2 sur l'étier du Port, 1 sur l'étier de la Peille, du Couleuvrou, du Haut Bois, de la Giquelais, de Vair, 2 sur l'étier de la Musse et 1 sur l'étier du Dareau
Sud Loire ⁴ Lac de Grand-Lieu	syndicat des Prairies du Tenu, du Migron, et de la Villette syndicat des marais de Vue syndicat des prairies de Buzay syndicat des prairies de la Martinière	d'est en ouest : 2 vannes à Paimbœuf, écluse du Carnet, pont-barrage des Champs Neufs, écluse triple sur l'étier de Vue et des Champs Neufs, 2 vannes sur le canal du Pavillon, pont-barrage du Buzay, et vannage de Bouaye

- 3 Le principal objectif de cet article est d'évaluer, en prenant comme exemple la crue de l'hiver 2000-2001, l'apport de la télédétection spatiale et aérienne pour la géographie de l'inondation des marais de la Basse-Loire. Plus précisément, il propose, pour une hauteur d'eau connue par les relevés de terrain, une cartographie avec la délimitation des zones inondées et l'estimation de leurs surfaces. Il est aussi de souligner également l'intérêt de ce type d'étude pour la prévention des risques d'inondation (Mehl et Hiller, 1992).

Figure 1 : Inondation des marais de la Basse-Loire en février 2001
The Lower Loire wetlands under floods in February 2001



Visualisation de la bande 5 (infrarouge moyen : 1,55-1,75 μm) d'une image du satellite Landsat 7 ETM+ (scène 201-27) acquise le 14 février 2001 à 10 h 44 min (TU) et géoréférencée en projection Lambert zone II étendue.

À remarquer l'inondation exceptionnelle de la Brière (niveau : 1,43 m NGF Lall.), du lac de Grand-Lieu (niveau : 2,66 m NGF 1969) et de l'Acheneau. Les zones inondées bordant la rive droite de l'estuaire de la Loire sont isolées du chenal de navigation et discontinues en raison des aménagements hydrauliques réalisés depuis le XVIII^e siècle.

Visualisation of band 5 (medium infrared : 1,55-1,75 μm) of an image of the Landsat 7 ETM+ (scene 201-27) acquired on 14th February 2001 at 10.44 a.m. (UTC) and geo-referenced on Lambert extended zone II projection. Note the exceptional flooding of La Brière (level : 1,43 m Ngf Lall.), the Lac de Grand-Lieu (level : 2,66 m Ngf 69) and Acheneau. The flooded areas along the right bank of the Loire estuary are cut off from the navigation channel and discontinuous due to the hydraulic projects carried out since the 18th century.

La crue de l'hiver 2000-2001 : principales caractéristiques hydro-climatiques

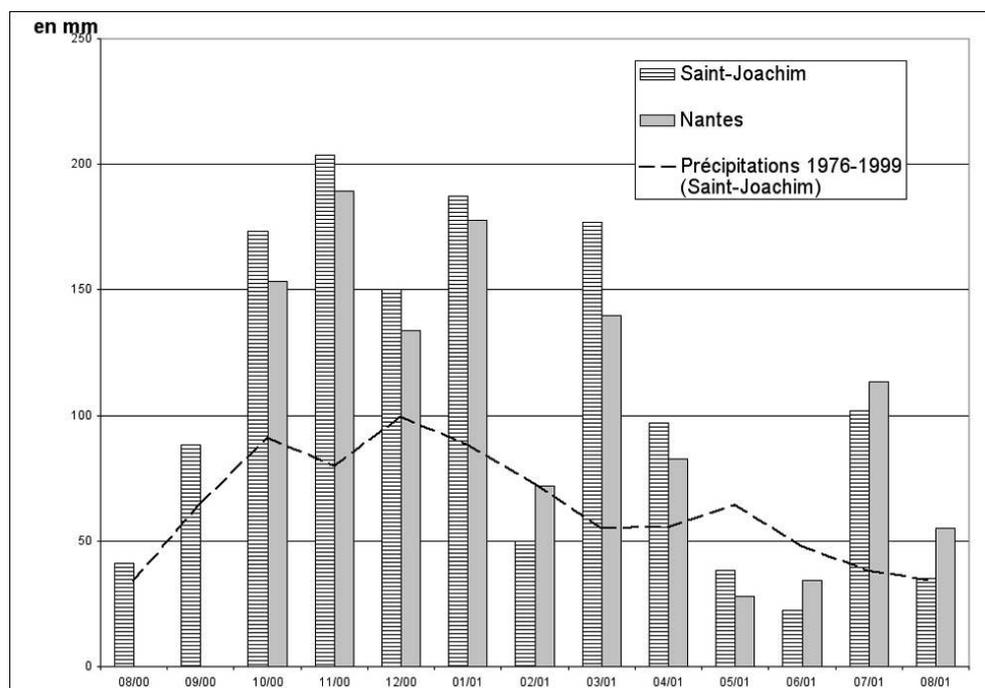
De fortes précipitations

- 4 La pluviométrie de l'hiver 2000-2001 (fig. 2) a engendré une inondation spectaculaire des marais de la Basse-Loire. De novembre 2000 à mars 2001, la Basse-Loire, comme la Bretagne, a été affectée par un événement pluvieux exceptionnellement long, généré

par un flux météorologique sud-ouest/nord-est durable⁵. D'une fréquence supérieure à ce qui a été enregistré depuis 70 ans, il a généré cinq épisodes de pluies d'une durée de 36 à 48 heures. Leurs effets ont été aggravés par la présence de sols déjà gorgés d'eau par les pluies automnales. Des crues importantes, décennales, ont touché successivement le Finistère (en décembre), l'Ille-et-Vilaine et le nord de la Loire-Atlantique (en janvier).

Figure 2 : Variations mensuelles des précipitations entre août 2000 et août 2001 à Saint-Joachim et à Nantes, comparées à la moyenne mensuelle des précipitations pour la période 1976-1999 à Saint-Joachim

Monthly rainfall variations between August 2000 and August 2001 at Saint-Joachim and Nantes compared to monthly average rainfall for 1976-1999 at Saint-Joachim



Sources : Parc naturel régional de Brière validées par Météo France (Saint-Joachim) et Météo France (Nantes).

Source : Parc naturel régional de Brière validated by Météo France (Saint-Joachim) and Météo France (Nantes).

- 5 Ces abondantes précipitations ont eu une incidence directe sur le régime hydrique des marais de la Basse-Loire. La pluviométrie⁶ cumulée de l'année 2000 (1 096,6 mm) a été beaucoup plus élevée que la moyenne calculée sur vingt ans (791 mm), particulièrement de septembre 2000 à janvier 2001, puis en mars 2001 : 941,2 mm (contre 486,5 mm de pluie d'octobre à mars, pour la période 1976-1999).

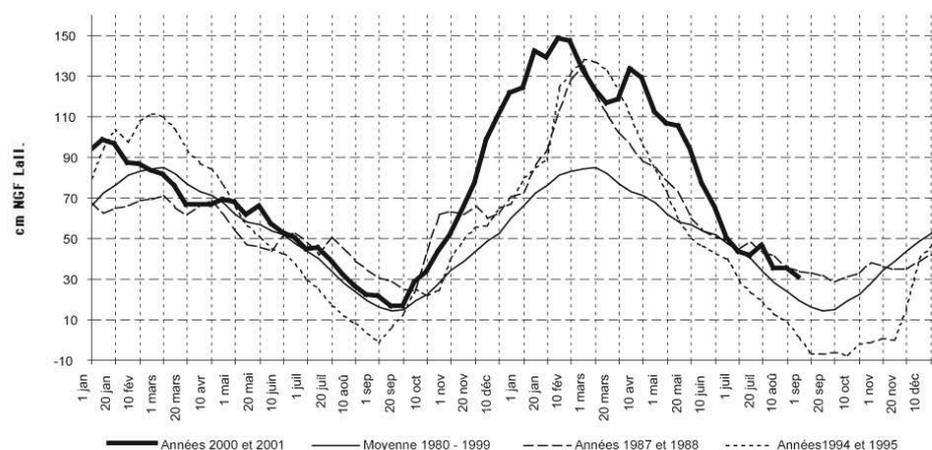
Des niveaux d'eau élevés durant une longue période

- 6 Le Parc naturel régional de Brière dispose de plusieurs limnigraphes, placés sur les principaux canaux des marais du Brivet. Les données analysées correspondent aux niveaux d'eau mesurés à la station de Fédrun (commune de Saint-Joachim) qui est la station de référence des marais de la Grande Brière. À la mi-septembre 2000, le niveau d'eau était encore très bas (0,14 m NGF Lall.), puis sa montée fut rapide jusqu'à atteindre son maximum, 1,50 m NGF, les 29-31 janvier 2001, ce qui représente une

amplitude de 1,36 m en quatre mois et demi. Au cours de l'hiver 2000-2001, la cote d'alerte (équivalente, selon la tradition orale, à 1,30 m NGF Lall., soit 2,51 m à l'échelle Brière) a été dépassée durant 61 jours, répartis sur quatre mois de l'année, de début janvier à début avril (47 jours du 4 janvier au 22 février, puis 14 jours du 27 mars au 9 avril). Au lac de Grand-Lieu, le pic de crue sera atteint un peu plus tôt, le 12 janvier 2001, avec une hauteur d'eau de 2,85 m (IGN-NGF 1969). Si l'on compare ces niveaux d'eau avec ceux atteints lors de crues antérieures (Galea, 1991) selon les deux critères, crue hivernale (janvier-mars) et niveau d'eau supérieur ou égal à 1,30 m NGF Lall. (notion de seuil), seulement à deux occasions, en 1988 et 1995, la cote d'alerte a été dépassée, en Brière, mais pour une période plus courte : février-mars (fig. 3).

Figure 3 : Variations décadaires (1^{er}, 10 et 20 du mois) des niveaux d'eau en Grande Brière pour les années de crue 1987, 1988, 1994, 1995, 2000 et 2001, comparées aux valeurs moyennes sur 20 ans (1980-1999)

Ten-day variations (1st 10th and 20th of each month) in water levels in the Grande Brière for the flood years 1987, 1988, 1994, 1995, 2000 and 2001, compared to average values over 20 years (1980-1999)



Source : Parc naturel régional de Brière

Matériel et méthodes utilisées

- 7 Le présent travail a bénéficié des images des satellites Landsat et SPOT⁷ acquises dans le cadre de recherches appliquées sur les inondations en Brière (Geffray et Boulet, 2001) et l'occupation du sol de la vallée de la Loire.

Les images Landsat et Spot

- 8 L'acquisition des images de la Brière a répondu à un double impératif, de date⁸ et de couverture géographique⁹. En l'absence de programmation, et après consultation des différents catalogues, seules quatre images, en mode optique, correspondaient à ces critères (tableau 2) : une image multispectrale Landsat 7 ETM⁺ acquise le 14 février 2001, une image SPOT 4 acquise en mode multispectral le 13 février 2001, deux images SPOT 4 acquises le 14 février 2001 simultanément en mode panchromatique et multispectral (tableau 3).

- 9 Les images SPOT 4 acquises (les 13 et 14 février 2002) ayant un mauvais cadrage géographique (partie sud manquante pour la première, partie ouest tronquée pour les deux autres), elles ont été toutes les trois nécessaires pour couvrir l'ensemble des marais du bassin du Brivet. Cependant, elles ont l'avantage d'être les seules images sans couverture nuageuse de tout l'hiver 2000-2001. L'image Landsat 7 ETM+ couvre, à elle seule, toute la Basse-Loire et possède des bandes spectrales infrarouges adaptées à la détermination des surfaces inondées.
- 10 Deux autres images, estivales, des satellites SPOT 4 du 22 août 1999 et Landsat 7 ETM+ du 22 juin 2001 (tableau 3) ont servi à affiner l'interprétation des images hivernales et à réaliser une cartographie diachronique intersaisonnière de la géographie de l'inondation.

Tableau 2 : Hauteurs d'eau des marais de la Boulaie, de la Grande et du lac de Grand-Lieu à la date d'acquisition des images Landsat 7 ETM+ et SPOT 4
Water levels in the wetlands of La Boulaie, La Grande and the Lac de Grand-Lieu on the dates the Landsat 7 ETM+ and SPOT 4 images were acquired

zone	localisation du limnigraphe	hauteur d'eau le 13 février 2001	hauteur d'eau le 14 février 2001
Grande Brière	Fédrun	1,44 m NGF-Lall	1,43 m NGF-Lall
marais de la Boulaie	pont de l'île Olivaud	1,52 m NGF-Lall	1,51 m NGF-Lall
Grand-Lieu	écluse de Buzay		2,66 m NGF 1969

Tableau 3 : Caractéristiques des images des satellites SPOT 4 et Landsat 7 ETM+ utilisées
Characteristics of the SPOT 4 and Landsat 7 ETM+ satellite images used

satellite	SPOT 4	SPOT 4	SPOT 4	SPOT 4	SPOT 4
taille image	60 x 60 km	60 x 60 km	60 x 60 km	60 x 60 km	60 x 60 km
K	33	33	32	32	32
J	254/6	254/6	254	254	254
date	22-08-1999	22-08-1999	14-02-2001	14-02-2001	13-02-2001
heure (TU)	11 h 31 min 10 s	11 h 31 min 10 s	11 h 09 min 04 s	11 h 09 min 04 s	11 h 28 min 21 s
HRV	2	1	1	1	2
mode	XI	M (=PAN)	M (=PAN)	XI	XI
centre latitude	47° 12' 38" N	47° 12' 38" N	47° 31' N	47° 31' N	47° 31' N
centre longitude	1° 32' 30" O	1° 32' 30" O	1° 48' O	1° 48' O	1° 48' O
angle incidence	25° L	25° L	- 9°	- 9°	17,9°
couverture nuageuse	AAAAAAAA	AAAAAAAA	AAAAAAAA	AAAAAAAA	ABABAAAA
qualité image	excellente	excellente	excellente	excellente	excellente
bandes spectrales (microns)	XS1 = 0,50 - 0,59 XS2 = 0,61 - 0,68 XS3 = 0,79 - 0,89 XI = 1,58 - 1,75	M = 0,61 - 0,68		XS1 = 0,50 - 0,59 XS2 = 0,61 - 0,68 XS3 = 0,79 - 0,89	

satellite	Landsat 7	Landsat 7
WRS Path	201	201
WRS Row	027	027
date	14-02-2001	22-06-2001
heure	10h 44min 00s TU	10h 43min 01s TU
bandes	8	
centre latitude	47° 26' N	47° 45' 06" N
centre longitude	0° 12' O	1° 35' 10" O
taille image	94,5 x 88,32 km	94,5 x 88,32 km
bandes spectrales (microns)	ETM ⁺ 1 = 0,45 - 0,52 ETM ⁺ 2 = 0,53 - 0,61 ETM ⁺ 3 = 0,63 - 0,69 ETM ⁺ 4 = 0,78 - 0,90 ETM ⁺ 5 = 1,55 - 1,75 ETM ⁺ 6 = 10,40 - 12,50 ETM ⁺ 7 = 2,08 - 2,35 ETM ⁺ 8 = 0,52 - 0,90	

Les photographies aériennes verticales et obliques

- 11 Les photographies aériennes verticales en couleur des missions IGN (FD 44-56 de juillet 1999) ont permis d'affiner, lorsque cela s'avérait nécessaire, la cartographie résultant du traitement et de l'interprétation des images satellitaires (fig. 6). Pour des secteurs précis, elles ont été complétées par des photographies aériennes obliques prises en période d'inondation. C'est le cas de celles réalisées en mars 1995, en ULM, pour le Parc naturel régional de Brière (photos 1 et 2) et le 29 janvier 2001 au nord de la Brière (entre La Chapelle-des-Marais et Saint-Malo-de-Guersac) par M. Marquis, photographe à La Chapelle-des-Marais, lors du maximum de la crue.

Photo 1 : Inondation des marais de Brière le 17 mars 1995 (pic de crue 1,39 m NGF Lall le 25 février 1995)

Flooding of the Brière wetlands on 17th March 1995 (flood peak 1.39 m NGF Lall on 25.2.1995)



Au premier plan, les îles de Bais (à g.) et de Brécun (à dr.), au second plan, les îles d'Aignac (à g.), de Saint-Joachim et Fédrun (à dr.), à l'arrière plan, la Grande Brière mottière inondée. L'inondation révèle la microtopographie insulaire et les menaces pesant sur l'urbanisation bordière. Photographie aérienne oblique prise en ULM le 25 février 1995, direction sud-ouest (Parc naturel régional de Brière).

In the foreground, the islands of Bais (left) and Brécun (right), in the centre, the islands of Aignac (left), Saint-Joachim and Fédrun (right), in the background, the Grande Brière mottière, covered by flood waters.

Flooding reveals the microtopography of the islands and the dangers to housing on their periphery. Oblique aerial photograph taken from an ultralight plane on 25.2.1995, in a south-westerly direction (Parc naturel régional de Brière).

Les traitements des images Landsat et Spot

- 12 Les images ont été traitées à l'aide du logiciel Geomatica de PCI et la cartographie, effectuée avec son module ACE. Leur correction géométrique et leur géoréférencement, en projection Lambert II zone étendue, ont été réalisés selon la méthode polynomiale, en utilisant des points remarquables (ou points de calage) de coordonnées connues (Scan 25 de l'IGN et image SPOT en mode panchromatique du 27 juin 1995 déjà géoréférencée).

Photo 2 : Inondation du sud des marais de Brière le 17 mars 1995 (pic de crue 1,39 m NGF Lall le 25 février 1995)
Flooding of the southern Brière wetlands on 17th March 1995 (flood peak 1.39 m. NGF Lall on 25.2.1995)



Au premier plan, hameau de Bert et marais de Fondry (Trignac) ; à l'arrière-plan, au-delà des marais inondés, le centre d'enfouissement des déchets de Cuneix et les îles Petite et Grande Jacquette (à droite). L'inondation révèle la microtopographie et montre les risques encourus par une urbanisation irresponsable. Photographie aérienne oblique prise en ULM le 25 février 1995, direction ouest (Parc naturel régional de Brière).

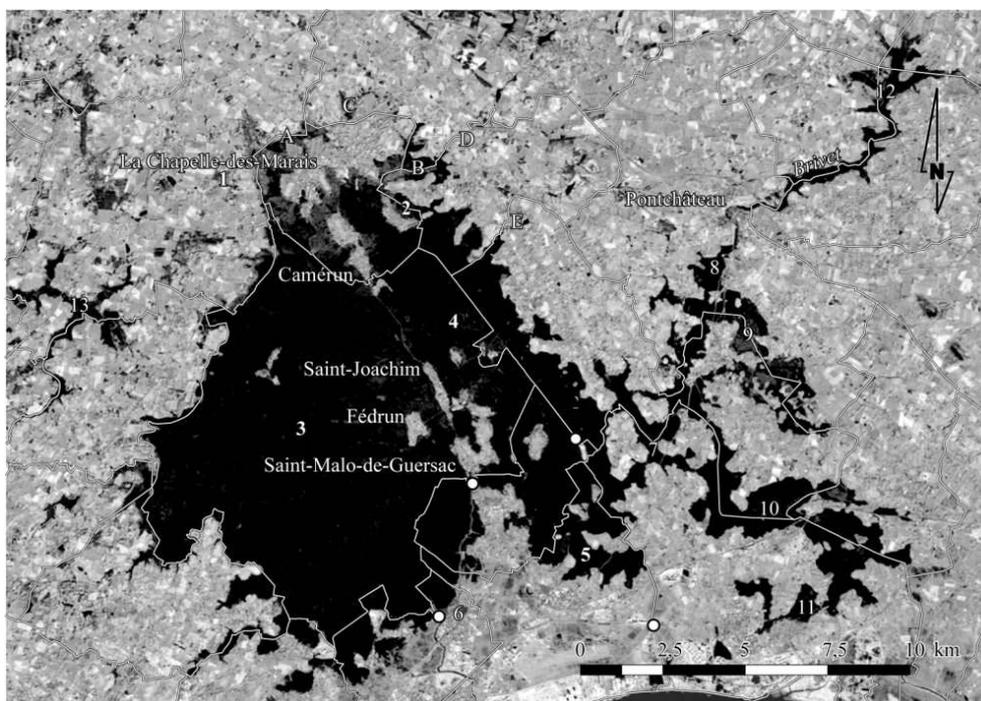
In the foreground, the hamlet of Bert and the Fondry wetlands (Trignac), in the background, beyond the flooded marshes, the Cuneix rubbish burial site and the islands of Petite and Grande Jacquette (right). The flood waters reveal the microtopography and the threats resulting from irresponsible housing development. Oblique aerial photograph taken from an ultralight plane on 25.2.1995 in a westerly direction (Parc naturel régional de Brière).

- 13 La fusion a permis de combiner des images panchromatique (noir et blanc) et multispectrale trichromatique (rouge, vert, bleu) et d'obtenir ainsi une image multispectrale à 10 m, d'une précision supérieure lorsque les images ont été acquises simultanément avec le même angle d'incidence. Devant l'impossibilité de faire des échantillonnages sur le terrain¹⁰, nous avons réalisé une classification non supervisée des images, postérieurement filtrées afin de les rendre plus lisibles (fonctions SIEVE et « filter mode » du logiciel EASI-PACE).
- 14 La cartographie des inondations, survenues au cours de l'hiver 2000-2001 dans le Parc naturel régional de Brière et les marais adjacents, a été réalisée avec le module ACE. Trois types de données ont été utilisés : carte IGN au 1/25 000 pour des secteurs particuliers d'analyse, photographie aérienne verticale en couleur (n° 1831 de juillet 1999) de l'IGN pour l'étude du secteur de Trignac et image du satellite SPOT 4 de la Brière acquise en période d'étiage le 17 juillet 1999.

Délimitation et estimation des marais inondés : les limites de la méthode par télédétection

- 15 L'image du satellite Landsat 7 du 14 février 2001 montre l'étendue des inondations ayant affecté la Basse-Loire à une date proche du pic de crue en Brière. Trois secteurs ont été particulièrement touchés : la Brière (fig. 4 et tableau 5), Grand-Lieu (fig. 5 et tableau 5) et les Marais de la rive droite de la Loire entre Savenay et Nantes (fig. 7 et tableau 5).

Figure 4 : Inondation de la Brière en février 2001
Flooding of La Brière in February 2001



Composition colorée : Rouge = bande 5 (infrarouge moyen : 1,55-1,75 μm) ; Vert = bande 4 (proche infrarouge : 0,76-0,90 μm) ; Bleu = bande 1 (bleu-vert : 0,45-0,52 μm), d'une image multispectrale Landsat 7 ETM+ (scène 201-27) acquise le 14 février 2001 à 10 h 44 min (TU).

Traits blancs : limites communales ; points blancs cerclés de noir : écluses et vannes principales. La surface inondée correspond à environ 16 700 ha (167 km²).

A : marais du Gué, B : marais de l'Harlo, C : marais du Gué neuf, D : étang de Crevy, E : les Étangs.

1 : marais d'Herbignac, 2 : marais de Cuziac-Bergeron et marais de Coulement, 3 : Grande Brière indivise et marais privés périphériques, 4 : marais de la Boulaie, de Québitre au Brivet moyen, 5 : marais du canal du Priory, 6 : marais à l'est du bas Brivet, 7 : marais du canal de la Brousse, 8 : marais du Brivet moyen, entre Pontchâteau et la Mine-Guesne, 9 : marais de Besné, 10 : marais du canal de la Taillée (du Pont de l'Ardivais à l'écluse de la Taillée), 11 : marais du canal de Martigné, 12 : marais du haut Brivet, 13 : marais du Mès, à l'est de Pont d'Arm.

Coloured composition : Red = band 5 (medium infrared : 1,55-1,75 μm) ; Green = band 4 (close infrared : 0,76-0,90 μm) ; Blue = band 1 (blue-green : 0,45-0,52 μm) of a Landsat 7 ETM+ multispectral image (scene 201-27) acquired on 14th February 2001 at 10.44 a.m. (UT). White dashes : borders of Communes, white dots within black circles : main locks and sluices. The flooded area covers some 16 700 ha (167 km²). A : Marais du Gué, B : Marais de l'Harlo, C : Marais du Gué Neuf, D : the Crevy pond, E : the ponds 1 : Marais d'Herbignac, 2 : Marais de Cuziac-Bergeron and Marais de Coulement, 3 : Grande Brière indivise and the surrounding private wetlands, 4 : Marais de la Boulaie, from Québitre to the central Brivet, 5 : wetlands of the Priory Canal, 6 : wetlands to the East of the Lower Brivet, 7 : wetlands of the Brousse canal, 8 : the wetlands of the central Brivet, between Pontchâteau and La Mine-Guesne, 9 : Marais de Besné, 10 : wetlands of the Canal de la Taillée (from Pont de l'Ardivais to the La Taillée lock), 11 : Canal de Martigné wetlands, 12 : Marais du haut Brivet, 13 : Marais du Mès, east of Pont d'Arm.

- 16 La superficie inondée de marais briérons est évaluée à environ 16 700 hectares (tableau 5), pour une hauteur d'eau de 1,43 m NGF (à Fédrun). L'inondation met en évidence la microtopographie : seuls les villages traditionnels, construits sur les îles (Fédrun, Saint-Joachim, Camerun, etc.), restent hors d'eau.

Tableau 4 : Superficies des zones inondées après traitement et analyse des images des satellites SPOT 4 (du 13 et 14 février 2001) et Landsat 7 ETM+ (du 14-02-2001) (voir localisation en figure 4)
Surface area of flooded zones after treatment and analysis of the satellite images, SPOT 4 (13 and 14.02.2001) and Landsat 7 ETM+ (14.02.2001) (Location : figure 4)

localisation	surface inondée (en hectares)
marais d'Herbignac	270
marais de Cuziac-Bergeron et marais de Coulement	288
Grande Brière indivise et marais privés périphériques	8 933
marais de la Boulaie, de Québitre au Brivet moyen	3 026
marais du canal du Priory	1 027
marais à l'est du bas Brivet	152
marais du canal de la Brousse	333
marais du Brivet moyen, entre Pontchâteau et la Mine-Guesne	520
marais de Besné	507
marais du canal de la Taillée (du Pont de l'Ardivais à l'écluse de la Taillée)	966
marais du canal de Martigné	358
marais du haut Brivet	455
Total	16 735
marais du Mès, à l'est de Pont d'Arm	523

Tableau 5 : Estimation des superficies des zones inondées, à partir de l'image du satellite Landsat 7 ETM+ acquise le 14 février 2001
Estimates of the surface area of flooded zones, using the Landsat 7 ETM+ satellite image (acquired 14.02.2001)

localisation	superficie inondée (en hectares)
lac de Grand-Lieu	6 018
marais de l'Acheneau	1 688
marais de rive droite de l'estuaire de la Loire	> 2 050

- 17 Cependant, pour une hauteur d'eau de 1,43-1,44 m NGF Lall (à Fédrun), certains marais, dits *hauts*, étaient déjà ressuyés. Des différences d'altitude, dues à la topographie en « marches d'escalier » du bassin du Brivet (Anonyme, 1986 ; Maillard, 1985), expliquent ce phénomène. Le plus bas niveau d'étiage atteint est celui de la Grande Brière, avec 0,5 m NGF Lall. Même si la cartographie ne tient pas compte de ces variations altimétriques, elle permet de bien délimiter les marais *hauts* comme celui du canal de la Taillée (de Vieux-Pont à l'écluse de la Taillée). À l'exception de la Grande Brière, des différences importantes d'extension spatiale existent entre les calculs effectués au sein du SIG du Parc naturel régional de Brière et ceux estimés par la télédétection spatiale (tableau 6).
- 18 Plusieurs raisons peuvent être invoquées pour expliquer de telles différences. Dans le cas de *marais déversoirs*, les zones bordant les rives de cours d'eau d'ordre inférieur (c'est-à-dire ceux situés en amont des bassins) sont marquées par des débordements brutaux et fréquents, mais de durée assez courte, à cause de l'étroitesse de leurs vallées, des fortes pentes et des faibles capacités de stockage des dépôts d'alluvions (Fustec et Lefeuvre, 2000). Les eaux ne font qu'y transiter, mais, lors des très fortes

précipitations journalières, comme celles survenues le 4 janvier 2001 (288 mm à la station de l'île de Fédrun), elles peuvent s'y accumuler momentanément et provoquer une inondation, qui disparaîtra ensuite presque entièrement dans un délai de 24 ou 48 heures.

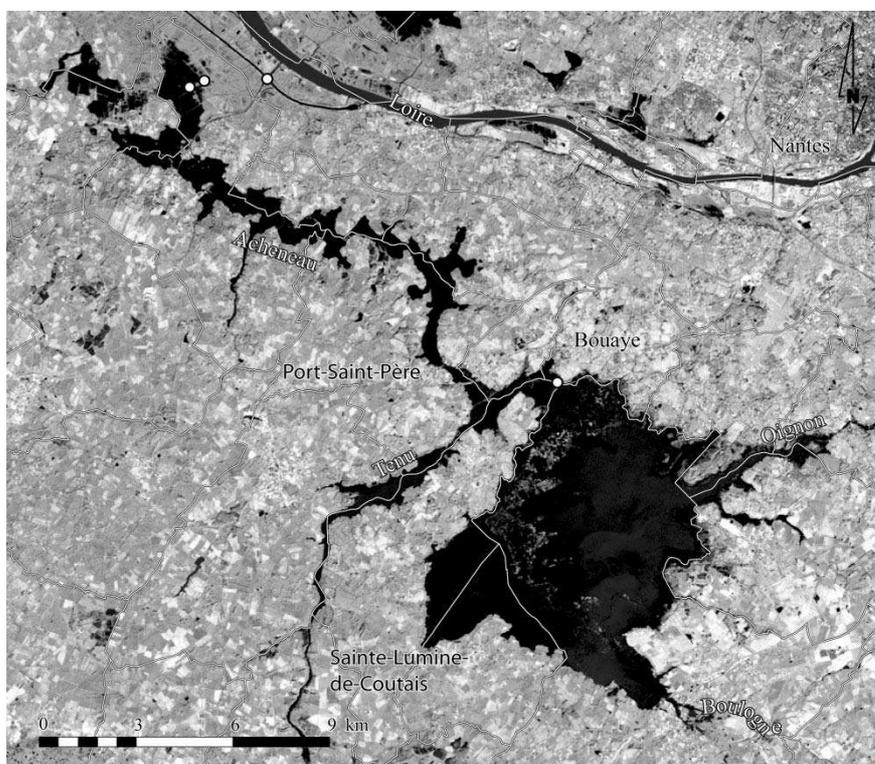
Tableau 6 : Comparaison de la superficie des marais mesurée par le SIG du Parc naturel régional de Brière et celles inondées, calculées par télédétection spatiale (images de SPOT 4 et Landsat 7 ETM+ des 13 et 14 janvier 2001) (Localisation : figure 4)
Comparison of the surface area of the wetlands measured by the GIS of the Parc naturel régional de Brière and the flooded areas, calculated using remote sensing (satellite images : SPOT 4 and Landsat 7 ETM+ of 13th and 14th January 2001) (Location : figure 4)

zone géographique	marais selon le PNR de Brière ¹¹ (surfaces en ha)	surfaces inondées (en ha) par télédétection	écart (en %)
marais d'Herbignac	696	270	- 61,2
marais à l'est du bas Brivet	456	152	- 66,7
marais du haut Brivet	1003	455	-54,6
Grande Brière indivise et marais privés	9465	8933	-5,6
total	11620	9810	-15,6

- 19 Dans le bassin du Brivet, plusieurs secteurs peuvent ainsi être considérés comme des marais déversoirs (fig. 4), ceux de la partie orientale de celui de l'Harlo (Missillac), de l'étang de Crevy (Sainte-Reine-de-Bretagne) ou encore celui des Étangs (Lieu-dit de la Poterie à Crossac). Il est certain que d'autres, de taille variable, existent, en particulier le long des cours d'eau situés en amont de la Grande Brière ou, au sud de l'estuaire de la Loire, autour du lac de Grand-Lieu. Si l'imagerie satellitaire ne les met guère en évidence, leur rôle n'en est pas moins fondamental pour l'hydrologie et l'écologie des marais.
- 20 Une des principales difficultés rencontrées pour délimiter par télédétection les surfaces inondées des marais est due à la présence de la végétation palustre (grands héliophytes et saules) qui recouvre leurs sols, notamment pour les marais en cours de comblement comme la Brière et Grand-Lieu (Geffray, 2001). Ce problème a été résolu dans la plupart des cas sauf dans celui de marais très fermés où la végétation est extrêmement dense, ce qui rend difficile la détection de l'eau par les bandes infrarouges des satellites SPOT 4 et Landsat 7 ETM+, dotés d'une résolution spatiale insuffisante pour analyser ce type de milieu (ex. secteur situé entre Herbignac et la butte de Guelan). Le même problème se pose pour la végétation ripariante dense. Il en résulte une sous-évaluation de la superficie inondée de ces secteurs marécageux. Néanmoins, le fait de ne pas pouvoir les détecter apporte une information intéressante révélant le fort degré de fermeture du milieu et donc, une phase avancée de colmatage alluvial. Il faudrait pouvoir réaliser, à l'aide d'un spectroradiomètre, des séries de mesures *in situ* afin d'obtenir les réponses spectrales des parcelles étudiées (échantillonnages) lorsqu'elles sont encore inondées (Robin, 1992).

- 21 Une autre difficulté existe lorsque l'urbanisation est dense. À Pontchâteau, l'inondation de la partie basse du centre urbain (fig. 4), visible sur les images satellitaires, est sans doute légèrement surévaluée du fait de la discrimination peu aisée entre les zones urbaines et inondées. Des contrôles sur le terrain s'avèrent alors indispensables pour éliminer les doutes et délimiter avec précision la zone inondée.
- 22 Enfin, il faut tenir compte des perturbations engendrées sur l'inondation par les aménagements hydrauliques et les autres actions anthropiques, à l'origine du comportement différentiel des eaux, comme, par exemple, un assèchement précoce après les pluies. Dans le marais de Brivet (haut Brivet), les multiples aménagements compliquent la cartographie et la rendent imprécise ; comme on peut le constater pour la zone alluviale vectorisée du SIG du Parc naturel régional de Brière.
- 23 La télédétection se révèle donc parfois insuffisante pour délimiter les zones inondées avec précision. Dans le cas des marais du bassin du Brivet, les causes en sont dues à une connaissance déficiente des marais déversoirs (du Gué, du Gué Neuf, de l'Harlo), à l'absence d'une altimétrie centimétrique des marais, à la densité de la végétation ou au fort degré d'anthropisation.

Figure 5 : Inondation du lac de Grand-Lieu et de l'Acheneau en février 2001
Flooding of the Lac de Grand-Lieu and the Acheneau in February 2001



Composition colorée : Rouge = bande 5 (infrarouge moyen : 1,55-1,75 μm) ; Vert = bande 4 (proche infrarouge : 0,76-0,90 μm) ; Bleu = bande 1 (bleu-vert : 0,45-0,52 μm) d'une image multispectrale Landsat 7 ETM+ (scène 201-27) acquise le 14 février 2001 à 10 h 44 min (TU).

Traits blancs : limites communales ; points blancs cerclés de noir : écluses et vannes principales. La surface inondée du lac de Grand-Lieu correspond à environ 6 000 ha (60 km²).

Coloured composition : Red = band 5 (medium infrared : 1,55-1,75 μm) ; Green = band 4 (near infrared : 0,76-0,90 μm) ; Blue = band 1 (blue-green : 0,45-0,52 μm) of a Landsat 7 ETM+ (scene 201-27) multispectral image acquired on 14th February 2001 at 10 h 44 min (UT). White dashes : borders of the communes ; white dots within black circles : main locks and sluices. The flooded area of the Lac de Grand-Lieu covers some 6 000 ha (60 km²).

Urbanisation et inondation : exemple de la commune de Trignac

- 24 La liste des communes sinistrées lors de l'inondation de l'hiver 2000-2001 (tableau 7) montre que la plupart d'entre elles appartenaient au Parc naturel régional de Brière. La commune de Trignac est à cet égard un exemple pertinent de l'aggravation du risque d'inondation suite à la croissance mal maîtrisée de l'urbanisation en zone inondable (fig. 6).

Tableau 7 : Arrêtés de catastrophes naturelles pour les communes du Parc naturel régional de Brière pris dans l'hiver 2000-2001
Official recognition of the Communes of the Parc naturel régional de Brière as natural disaster areas in the winter of 2000-2001

INSEE	commune	risque	date début	date fin	date de l'arrêté	date JO
44050	Crossac	inondations et coulées de boue	10-01-2001	12-01-2001	29-05-2001	14-06-2001
44129	Pontchâteau	inondations et coulées de boue	10-01-2001	12-01-2001	12-03-2002	28-03-2002
44168	Saint-Joachim	inondations par remontées de nappe phréatique	09-12-2000	15-02-2001	19-07-2001	29-07-2001
44168	Saint-Joachim	inondations et coulées de boue	10-01-2001	15-02-2001	19-07-2001	29-07-2001
44176	Saint-Malo-de-Guersac	inondations et coulées de boue	10-01-2001	15-01-2001	29-05-2001	14-06-2001
44184	Saint-Nazaire	inondations et coulées de boue	10-01-2001	15-02-2001	19-07-2001	29-07-2001
44210	Trignac	inondations et coulées de boue	10-01-2001	15-02-2001	29-05-2001	14-06-2001

(source : [http://www.prim.net/professionnel/procedures_regl/export/reg_C4_PAYS.txt])

- 25 La disposition d'une photographie aérienne verticale (juillet 1999) de la partie nord de la commune de Trignac (le Camp d'Aine-Bel-Air) et de la liste des maisons (43 déclarations de sinistre) ayant subi les effets de l'inondation pendant l'hiver 2000-2001 ont permis de réaliser une étude détaillée (tableau 8). Sur un total de 43 maisons inondées, 32 ont fait l'objet d'un relèvement au GPS afin d'en connaître les coordonnées exactes (erreur de précision = environ 8 m), par conversion dans le système de coordonnées Lambert II conique conforme.

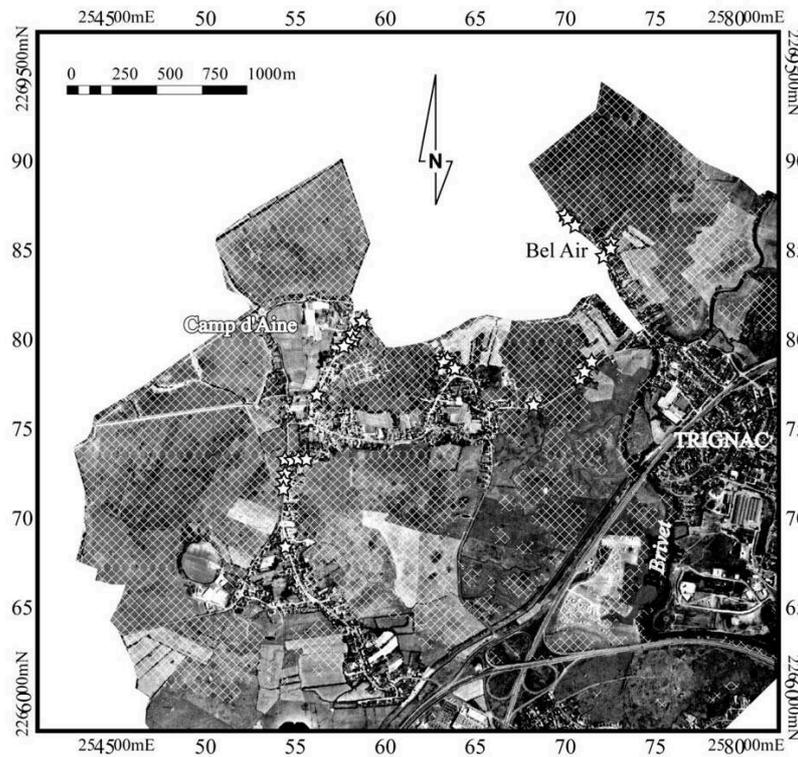
Tableau 8 : Maisons sinistrées, relevées par GPS, situées à l'intérieur du périmètre d'inondation extrait des images multispectrales des satellites SPOT 4 du 14 février 2001 et Landsat 7 ETM+ du 14 février 2001
Damaged houses located by GPS within the perimeter of the flooded area taken from multispectral satellite images (SPOT 4 on 14.02.01 and Landsat 7 ETM+ on 14.02.01)

	carte réalisée à partir données satellitaires
--	---

résolution de l'image (m)	12,0604 x 12,0604
erreur cumulée (m) ¹²	20
maisons inondées hors du périmètre d'inondation	3
maisons inondées incluses dans le périmètre d'inondation	29
nombre total de maisons prises en compte	32

- 26 Trois maisons sont nettement en dehors du périmètre d'inondation. Il est vraisemblable que ces trois habitations ont été inondées lors du pic de crue (1,50 m NGF Lall.), ce qui implique que les marais hauts, tels que celui à l'est du bas Brivet ou encore celui du canal de la Taillé (de Vieux-Pont à l'écluse de la Taillée) n'étaient pas inondés aux dates d'acquisition des images satellitaires, même si la meilleure résolution des images du satellite SPOT 4 permet de détecter certaines zones inondées résiduelles, sans doute liées à des microdépressions.
- 27 À de rares exceptions près, les maisons sinistrées sont situées dans le périmètre d'inondation (fig. 6). Cette constatation ne tient pas compte de la marge d'erreur acceptable (20 et 25 m) et des maisons sinistrées pour lesquelles, l'adresse étant incomplète (absence de numéro de rue), il n'a pu être effectué un relevé au GPS.
- 28 Ainsi, les maisons sinistrées sont presque toutes (29 sur 32) localisées en zone inondable, ce qu'une connaissance préalable de la géographie de l'inondation aurait pu éviter. On est en droit de se poser la question de la pertinence des permis de construire qui ont été délivrés pour les édifier. En Brière, le cas de Trignac n'est malheureusement pas isolé. À Saint-Joachim, des maisons et le complexe sportif, construit sur la route menant à l'île de Brécun, ont été également inondés.

Figure 6 : Inondation de la partie nord de la commune de Trignac en février 2001
 Floods in the northern part of the Commune of Trignac in February 2001



La classification non supervisée : bande 4 (infrarouge moyen : 1,58-1,75 μm), bande panchromatique (visible : 0,61-0,68 μm), indice normalisé de végétation (bande 4 – bande 2/bande 4 + bande 2) d'une image du satellite SPOT 4 (scène 32-254) acquise en mode multispectral le 14 février 2001 à 11 h 9 min 4 s (TU), et fusionnée avec la bande panchromatique (résolution spatiale = 10 x 10 m) d'une image SPOT 4 acquise à la même date, a été combinée avec une photographie aérienne verticale (n° 1831) de l'IGN de juillet 1999.

Étoiles blanches : 32 habitations inondées localisées *in situ* à l'aide d'un GPS ; hachuré blanc : secteurs inondés ; blanc : masque de la partie externe à la commune de Trignac.

Géoréférencement en projection Lambert zone II étendue.

*The unsupervised classification : band 4 (medium infrared : 1,58-1,75 μm), panchromatic band (visible : 0,61-0,68 μm), normalised vegetation index (band 4 – band 2/band 4 + band 2) of a SPOT 4 (scene 32-254) satellite image acquired in multispectral mode on 14th February 2001 at 11 h 9 min 4 s (UT), and fused with the panchromatic band (spatial resolution = 10 x 10 m) of a SPOT 4 image acquired on the same day, was combined with an IGN vertical aerial photograph (n° 1831) of July 1999. White stars : 32 flooded houses located *in situ* using a GPS ; white hachures : flooded areas ; white : masking of the outer part of the Commune of Trignac. Georeferencing : Lambert projection, extended zone II.*

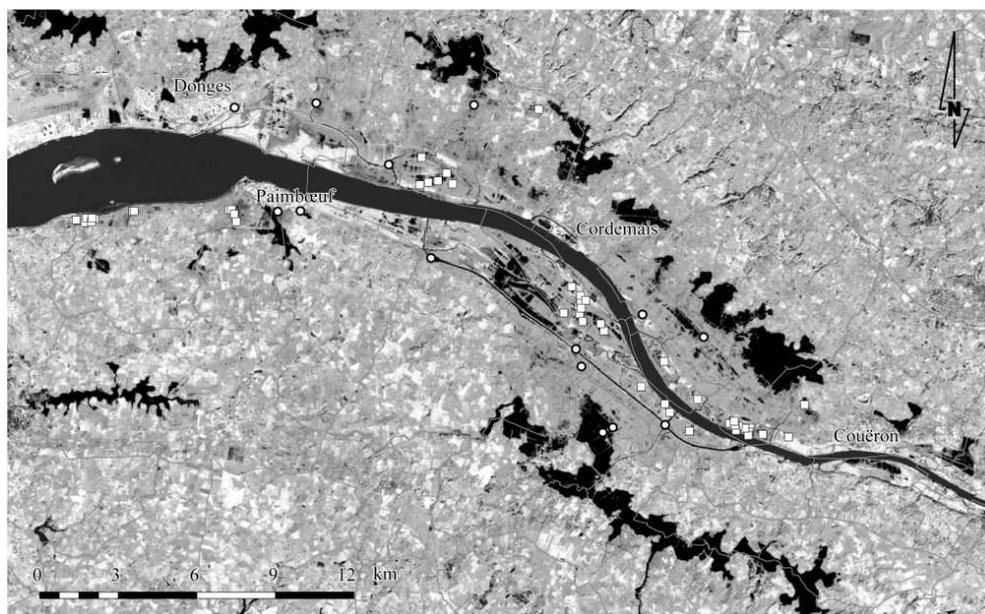
Une extension de l'inondation permanente en période d'étiage : les étangs de chasse

- 29 Une étude diachronique, interannuelle et intersaisonnière, par télédétection montre une extension de l'inondation permanente des marais de la Basse-Loire en période d'étiage. Cette évolution, qui modifie la géographie de l'inondation, résulte en grande partie de la multiplication des étangs de chasse.
- 30 Les marais estuariens et leurs bordures situés entre les agglomérations de Nantes et de Saint-Nazaire ont récemment connu un mitage de leurs paysages. Les causes en sont la déprise agricole, la croissance de l'urbanisation, mais aussi l'appropriation des friches par les chasseurs pour y creuser des étangs (*trous de chasse*), surtout localisés dans les

marais du sud de l'estuaire et, notamment, le secteur des îles (Massereau). Les étangs, utilisés comme reposoirs pour le gibier d'eau, servent pour la chasse à la passée. Une centaine d'hectares de marais ont ainsi été rachetés par le Syndicat intercommunal de chasse au gibier d'eau de la Basse-Loire « pour les soustraire à l'abandon faute d'entretien par l'homme ». En moins de vingt ans, le nombre des *trous de chasse* est passé de 20 à plus de 200 (fig. 7), ce qui a été à l'origine de conflits entre chasseurs et agriculteurs pour la gestion des niveaux d'eau. Ce phénomène a été freiné ces dernières années par la mise en œuvre de mesures agri-environnementales et le développement de nouveaux modes d'exploitation des prairies (élevage extensif de qualité, bio, etc.).

Figure 7 : Inondation des marais entre Couëron et Savenay, sur la rive droite de l'estuaire de la Loire en février 2001

Flooded wetlands between Couëron and Savenay, on the right bank of the Loire estuary in February 2001



Composition colorée : Rouge = bande 5 (infrarouge moyen : 1,55-1,75 μm) ; Vert = bande 4 (proche infrarouge : 0,76-0,90 μm) ; Bleu = bande 1 (bleu-vert : 0,45-0,52 μm) d'une image multispectrale Landsat 7 ETM+ (scène 201-27) acquise le 14 février 2001 à 10 h 44 min (TU)

Traits blancs : limites communales ; points blancs cerclés de noir : écluses et vannes principales ; carrés blancs : étangs de chasse

Coloured composition : Red = band 5 (medium infrared : 1,55-1,75 μm) ; Green = band 4 (close infrared : 0,76-0,90 μm) ; Blue = band 1 (blue-green : 0,45-0,52 μm) of a Landsat 7 ETM+ (scene 201-27) multispectral image acquired on 14th February 2001 at 10 h 44 min (UT) White dashes : borders of Communes ; white dots within black circles : main locks and sluices ; white squares : shooting ponds

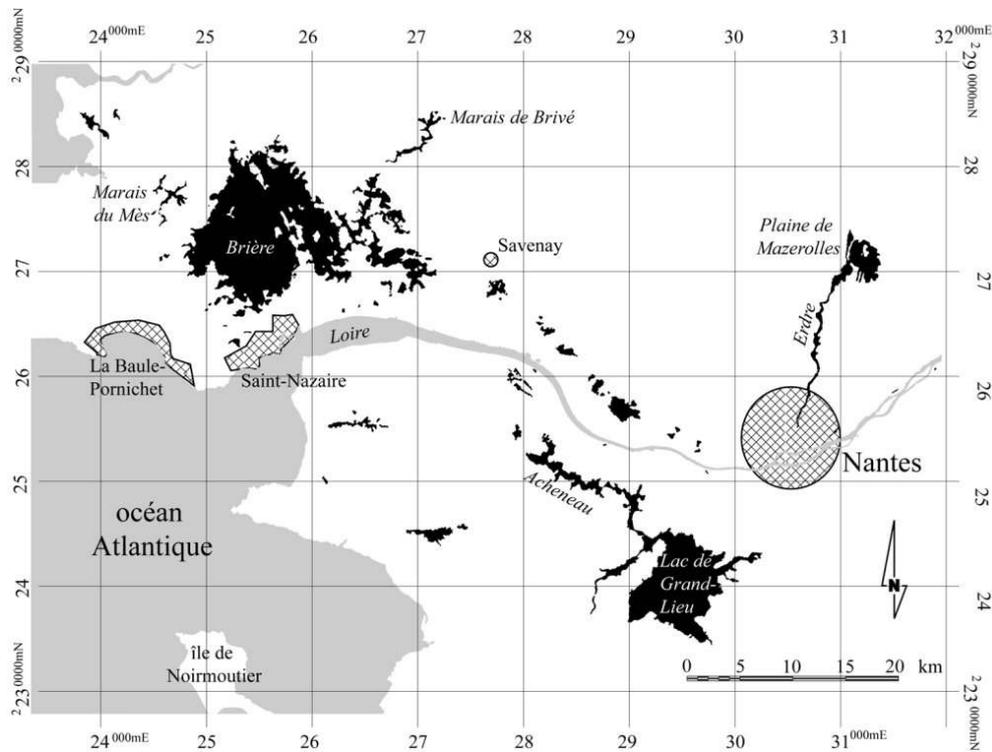
- 31 La cartographie des *trous de chasse* s'est heurtée à trois difficultés : leur petite superficie (< 1 ha), qui correspond à quelques pixels d'une image SPOT ou Landsat ; leur confusion avec les mares, naturelles ou artificielles, et d'autres types de plans d'eau ; leur interdiction d'accès (chasse gardée, clôtures). Cependant, quelques indicateurs, comme la proximité d'une voie de communication ou leur forme irrégulière permettent de les repérer.

Conclusion

- 32 La cartographie des zones inondées des marais de la Basse-Loire lors de la crue de l'hiver 2000-2001 a été grandement facilitée par l'utilisation de la télédétection spatiale,

qui a permis, grâce à sa vision synoptique et aux bandes spectrales infrarouges des capteurs HRV de SPOT 4 et ETM* de Landsat 7, de bien les délimiter et d'en calculer les surfaces. Les quelques difficultés rencontrées, dues aux limitations de la méthode, peuvent être palliées par emploi de photographies aériennes, verticales et obliques, des mesures altimétriques de précision centimétrique et des contrôles sur le terrain (Boujot *et al.*, 1998). La corrélation entre les niveaux d'eau relevés pendant la crue (Brière et lac de Grand-Lieu) et le moment précis d'acquisition des images satellitaires rend possible la confection de cartes d'extension de l'inondation pour une cote donnée (fig. 8). Le traitement de séries d'images satellitaires (optiques ou radars, en cas de couverture nuageuse constante), acquises en fonction de hauteurs d'eau différentes, permettraient de dresser une hypsométrie multitemporelle de l'inondation. Le cas de la commune de Trignac a démontré l'intérêt de disposer de ce type de documents pour prévenir les risques liés à l'urbanisation en zone inondable. Enfin, dans les variations saisonnières et interannuelles des surfaces en eau, il faut tenir compte de l'extension de l'inondation permanente due au creusement de nombreux étangs de chasse.

Figure 8 : Carte synthétique des inondations de la Basse-Loire le 14 février 2001
Map of floods in the Lower Loire on 14th February 2001



Vecteur obtenu à partir de la bande 4 (proche infrarouge : 0,76-0,90 μm), après seuillage ($S = 34$) et filtrage, d'une image multispectrale Landsat 7 ETM* (scène 201-27) acquise le 14 février 2001 à 10 h 44 min (TU) et géoréférencée en projection Lambert zone II étendue. (Cote Brière : 1,43 m NGF Lall ; cote Grand-Lieu : 2,66 m NGF 1969. Noir : surfaces inondées ; gris : zones marine et estuarienne ; hachures : villes principales.)

The vector was obtained from band 4 (close infrared : 0,76-0,90 μm), after thresholding ($T = 34$) and filtering a Landsat 7 ETM* (scene 201-27) multispectral image acquired on 14th February 2001 at 10 h 44 min (UT) georeferenced in Lambert, extended zone II projection. (Brière level : 1,43 m NGF Lall ; Grand-Lieu level : 2,66 m NGF 1969. Black : flooded areas ; grey : marine and estuarine areas ; hachures : main towns.)

BIBLIOGRAPHIE

- ABERLACH MANDY (M.-A.), 2001. – « Espace rural et aménagement des marais de Donges du Moyen Âge au XVIII^e siècle », *Aestuarina, Sciences humaines et environnement*, n° 2, p. 13-39.
- ANONYME, 1986. – *Étude d'impact de l'aménagement des marais du bassin du Brivet*, rapport de synthèse, Union des syndicats des marais du bassin du Brivet, Parc naturel régional de Brière, 56 p.
- ANONYME, 1996. – *Zones humides*, rapports de synthèse de l'APEEL (Association pour la protection de l'environnement de l'estuaire de la Loire), 1984-1994, 4, 68 p.
- BOUJOT (C.), CASSEN (S.), MÉNANTEAU (L.), THOMAS (Y.-F.), 1998. – « Tertres funéraires néolithiques de la Brière (Loire-Atlantique) : télédétection aérienne et satellitaire », *Les Nouvelles de l'Archéologie*, Errance, 74, p. 14-21.
- BOULET (A.), 1998. – *Aperçu de l'état d'exploitation et d'inondation des principaux marais privés bordant la Grande Brière*, rapport, Parc naturel régional de Brière, 18 p.
- CHARDONNET (J.), 1992a. – « L'aménagement de la Loire et de ses affluents », *Géographie et Recherche*, n° 83, p. 3-83.
- CHARDONNET (J.), 1992b. – « L'aménagement de la Loire et de ses affluents. Les politiques d'aménagement : perspectives actuelles », *Géographie et Recherche*, n° 84, p. 3-124.
- CHEIZE (J.), 1998. – *L'analyse des turbidités dans l'estuaire de la Loire*, mémoire de Maîtrise, Université de Nantes, 117 p.
- FATTAL (P.), 2000. – « L'émergence de la notion d'environnement dans l'estuaire de la Loire », *Nantes, Édition du comité des travaux historiques et scientifiques*, 124^e Côtes et estuaires, milieux naturels, p. 275-285.
- FUSTEC (E.), LEFEUVRE (J.-C.) (dir.), 2000. – *Fonctions et valeurs de zones humides*, Paris, Dunod, 426 p.
- GALEA (G.), 1991. – *Lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique). Modélisation des apports et crues rares. Bilan hydrologique, hypothèse de gestion et défaillance*, Lyon, CEMAGREF, 61 p.
- GEFFRAY (O.), 2001. – *Méthodologie pour une exploitation des images des satellites SPOT : application à la Brière et aux zones humides adjacentes*, rapport, Parc naturel régional de Brière et laboratoire Géolittomer-Nantes LETG-UMR 6554 CNRS, 79 p.
- GEFFRAY (O.) et BOULET (A.), 2001. – *Application de la télédétection spatiale, Pour une contribution à l'étude des inondations survenues lors de l'hiver 2000-2001 dans les marais des bassins du Brivet et du Mès*, rapport, Parc naturel régional de Brière et laboratoire Géolittomer-Nantes LETG-UMR6554CNRS, 53 p.
- GRAS (J.), 1984. – « La maîtrise de l'eau dans les prés-marais de l'estuaire : étude comparée », *Nantes, Cahiers nantais*, n° 23, p. 1-139.
- LE MAREC (Y.), 2002. – « Le marais Audubon à Couëron. Des grands travaux d'aménagement dans l'estuaire de la Loire à la notion de patrimoine (XIX^e-XX^e siècles) », *Aestuarina, Sciences humaines et environnement*, n° 2, p. 167-186.
- MAILLARD (Y.-P.), 1985. – *Carte des compartiments hydrauliques de la zone des marais, situation en période de basses eaux*, Parc naturel régional de Brière, n.p.

MARION (L.), MARION (P.), 1975. – *Contribution à l'étude écologique du lac de Grand-Lieu*, Nantes, Société des sciences naturelles de l'ouest de la France, 611 p.

MARION (L.), CONSTANT (L.), GURLIAT (P.), LE BAIL (J.), LERAY (G.) et RECORBET (B.), 1991. – *Projet d'application de la directive Oiseaux de la CEE à l'estuaire de la Loire*, rapport du groupe de travail APEEL – DRAE ministère de l'Environnement, 59 p.

MARION (L.), 1996. – « Présentation de la directive oiseaux 79/409 de la CEE et son application à l'estuaire de la Loire », dans *Estuaire de la Loire*, rapports de synthèse de l'APEEL 1984-1994, 4, p. 46-68.

MEHL (H.), HILLER (K.), 1992. – « Application of multitemporal Landsat-MSS and -TM data for the development of an inundation-risk-map », dans *Remote Sensing for Environmental Monitoring and Resource Management*, ESA, Environment Observation and Climate Modelling Through International Space Projects, 2, p. 591-594.

OTTOMAN (F.), 1981. – « Conséquences des aménagements sur le milieu estuarien », dans *L'écologie et l'aménagement de la Loire*, rapport, Fédération régionale des associations de protection de l'environnement du centre, ministère de l'Environnement – mission des études et recherches, p. 371-400.

ROBIN (M.), 1992. – « Télédétection des inondations : l'exemple du marais des Monts (Vendée) », Poitiers, *Norais*, n° 155, p. 317-335.

VAUTHIER-VÉZIER (A.), 2001. – « Le canal maritime de la Basse-Loire et les marais de la rive gauche au XIX^e siècle », *Aestuaria, Marais et zones humides*, n° 1, p. 73-88.

NOTES

1. Voir pages web : [<http://natura2000.environnement.gouv.fr/sites/FR5200621.html>] et [<http://www.loire-atlantique.fr/chambagri/natura.htm>].
2. Le SMAHBB fait suite à l'union des syndicats de marais (créée en 1960) qui regroupait la commission syndicale de Grande Brière Mottière (fondée vers 1836/1838), le syndicat des marais de Donges (fondé vers 1836/1838 et dissout en 2001) et le syndicat des marais du haut Brivet (fondé en 1950 et dissout en 1990/1991).
3. Ces dix syndicats de marais datent du XIX^e siècle (créés entre 1807 à 1965) ; ils s'étendent des communes de Couëron à Lavau-sur-Loire (Anonyme, 1996).
4. Ces quatre syndicats font partie de l'Union des Marais du Sud Loire, créée en 1957 et qui regroupe onze syndicats de marais. Ils sont situés dans un triangle : Frossay, Saint-Philbert-de-Grand-Lieu et Beauvoir-sur-Mer (Anonyme, 1996).
5. Rapport de la mission d'expertise sur les crues de décembre 2000 et janvier 2001 en Bretagne, ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, service de l'inspection générale de l'environnement.
6. À partir de l'analyse des données pluviométriques de la station de la commune de Saint-Joachim.
7. Les images Spot ont fait l'objet d'une demande au programme ISIS (incitation à l'utilisation scientifique des images Spot) du CNES (Centre national d'études spatiales).
8. Pic de crue à 1,50 m Ngf à Fédrun (Grand Brière) les 29, 30 et 31 janvier 2001 et à 1,60 m Ngf au pont de l'île Olivaud (marais de la Boulaie) le 30 janvier 2001.
9. La totalité des marais inclus dans les limites du Parc naturel régional de Brière.
10. En effet, l'étude a été menée plusieurs mois après les inondations de l'hiver 2000-2001.

11. La vectorisation (à l'échelle du 1/50 000) de la zone alluviale a pris comme référence la courbe de niveau 2,5 m NGF Lall définie par Maillard et al., modifiée par les scientifiques du Parc naturel régional de Brière après des études de terrain.

12. L'erreur cumulée est la somme de la résolution de l'image, de l'erreur initiale sur les relevés au GPS (3 m) et de celle, de 2 à 5 m, produite lors de la conversion WGS84-NTF.

RÉSUMÉS

Connaître la géographie de l'inondation des marais de la Basse-Loire (notamment ceux de l'estuaire de la Loire, de la Brière et du lac de Grand-Lieu) est fondamental pour en assurer une gestion adéquate. Cependant, on doit tenir compte des profondes modifications de leur hydrologie par les aménagements hydrauliques réalisés depuis le XVIII^e siècle. À partir de l'exemple de la dernière grande crue, survenue au cours de l'hiver 2000-2001, l'article montre l'apport de la télédétection spatiale (images des satellites Landsat 7 ETM⁺ et SPOT 4) et aérienne pour délimiter les marais inondés et d'en calculer la surface, en corrélation avec les niveaux d'eau relevés à la même période. Le cas de la commune de Trignac illustre l'intérêt de ce type d'étude pour prévenir les risques liés à l'urbanisation. Une comparaison intersaisonnière et interannuelle révèle l'extension de l'inondation permanente en raison de la multiplication des étangs de chasse.

A proper knowledge of the geography of flooding of the marshes of the Lower Loire (especially those of the estuary, La Brière and the Lac de Grand-Lieu) is essential to ensure correct management. Nevertheless, we must take into account the considerable changes in the hydrology as a result of the various hydraulic projects carried out since the 18th century. Taking the last major flood, in the winter of 2000-2001, as an example the authors demonstrate how remote sensing – both satellite, using Landsat 7 ETM⁺ and SPOT 4 images, and aerial – can be used to mark the limits of the marshes flooded and calculate their surface area, in correlation with the water levels registered during the same period. The case of the Commune of Trignac shows the interest of this type of study in preventing threats linked to urban development. An inter-seasonal and inter-annual comparison demonstrates the extent of permanent flooding due to the growing number of ponds created for shooting waterfowl.

INDEX

Index géographique : France, Loire (fleuve et vallées), Loire-Atlantique, Trignac

Mots-clés : étang, inondation, marais, risque, télédétection, urbanisation

Keywords : flooding, remote sensing, risk, swamp, urban development, pond

AUTEURS

OLIVIER GEFFRAY

Geolittomer, UMR 6554 LETG – CNRS, picrochole@wanadoo.fr

LOÏC MÉNANTEAU

Geolittomer, UMR 6554 LETG – CNRS, loic.menanteau@humana.univ-nantes.fr