



HAL
open science

Morphodynamics of the Mont-Saint-Michel bay (West France) since 1986 by remote sensing data

Yvette Vaguet, Jean-Paul Auffret, Jean Paul Deroin, Yvette Marchand,
Jean-Paul Deroin

► **To cite this version:**

Yvette Vaguet, Jean-Paul Auffret, Jean Paul Deroin, Yvette Marchand, Jean-Paul Deroin. Morphodynamics of the Mont-Saint-Michel bay (West France) since 1986 by remote sensing data. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, 1998, 327 (3), pp.155-159. 10.1016/S1251-8050(98)80002-5 . hal-01853866

HAL Id: hal-01853866

<https://hal.science/hal-01853866v1>

Submitted on 6 Aug 2018

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

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

Dynamique sédimentaire de la baie du Mont-Saint-Michel (Ouest France) depuis 1986, à partir de données satellitales

Morphodynamics of the Mont-Saint-Michel bay (West France) since 1986 by remote sensing data

Yvette Marchand^{a, b}, Jean-Paul Auffret^b, Jean-Paul Deroin^c

^a Département de géographie, université de Caen, 14032 Caen cedex, France

^b Laboratoire de morphodynamique continentale et côtière, Upresa-CNRS, rue des Tilleuls, 14000 Caen, France

^c

BRGM, Parc de la Vatine, 10, rue Andreï-Sakharov, 76130 Mont-Saint-Aignan, France

Abstract—The Mont-Saint-Michel bay covers an area of 500 km² and is characterised by an exceptionally high tide (up to 15 m). These two parameters allow the study of its tidal flat by a remote sensing survey. This paper deals with a global and quantitative approach to an analysis of the bay using satellite data during the last 10 years. Although the western part of the bay is quite stable, the eastern part sands up. Concurrently, the channels do not easily evacuate the eroded sediments. Though vegetation development has decreased since the last evaluation, the schorres are still progressing on the eastern part.

Mont-Saint-Michel bay / coastal geomorphology / remote sensing / quantitative approach

Résumé — La baie du Mont-Saint-Michel, de par son envergure (500 km²) et son marnage exceptionnel (jusqu'à 15 m), permet de suivre l'évolution spatio-temporelle de son estran par télédétection. Notre approche est une analyse morphocinématique globale et quantitative de la baie à partir de données satellitales sur la période récente. Si la partie occidentale de la baie est relativement stable, la partie orientale montre un fort ensablement. Dans le même temps, les chenaux évacuent difficilement le matériel érodé. Bien que le rythme des conquêtes par la végétation se soit ralenti depuis les dernières évaluations, la progradation des schorres est un fait quasi-général à l'est.

baie du Mont-Saint-Michel / géomorphologie littorale / télédétection / approche quantitative

Abridged version

The Mont-Saint-Michel bay (*figure*) is a macrotidal area covering 500 km². Thus, it is possible to study its tidal flat by a remote sensing approach. Le Rhun (1982) focused on vegetation aspects and Zbinden (1988) on suspended matters. Le Rhun and Verger (1977), L'Homer and Minoux (1987) and Bariou et al. (1988) made a qualitative geomorphological analysis. As this site presents an important sedimental dynamic, a new morphodynamic map was needed. In this paper, we

introduce a global and quantitative morphodynamic study of the bay during the last 10 years based on satellite and field data (Marchand, 1997).

Satellite data and their processing

Four satellite images, each showing the emerged tidal flat, were used. The HRV-XS sensor of the SPOT satellite provided

Note présentée par Georges Pédro.

Note remise le 19 janvier 1998, acceptée après révision le 2 juin 1998.

* E-mail : yhrm2@cus.cam.ac.uk

two images: one on 9 June 1986 at 10h30 UTC and the other on 15 January 1995 at 11h22 UTC (simultaneously acquired with a scientific mission in the field). The Landsat satellite provided an image on 11 March 1987 at 10h45 UTC. The OPS sensor of the JERS satellite provided an image on 29 July 1992 at 11h15 UTC (Deroin et al., 1997).

These data were processed to obtain a morphosedimentary assessment from 1986 to 1995. They were geometrically corrected (Lambert I projection) to be superimposed and to quantify the evolution. Classifications (FRALIT, 1977) were used to draw global maps with the same clusters for the four images: sand, silt, mud, schorre, sea and channel. Based on these works, using only the 'sand' and 'schorre' clusters, we realised a morphodynamic map of all of the high flat since 1986. The channel network in 1995 has been kept because it explains a main part of the schorre evolution in the eastern part (*figure*).

Geomorphological units

The typical landscape of the bay is wadden characterised by the tange deposits on the low parts and the schorre vegetation on the high parts (Verger, 1968; Lang et al., 1973; Larssonneur, 1989). Nevertheless, three different regions exist with their own hydrosedimentary dynamics (*figure*).

In the southern and western parts of the bay, the gulf remains sheltered from the tidal wave. The currents are very weak and the swell dominates. On the tidal flat occurs: 1) the biological reef of *Sabellaria* (Hermelles); 2) the seafood farm installations which slow down the currents and increase the sediment supply with organic matter and 3) the shell bars built by the swell from the lowest part of the tidal flat up to the schorre.

The eastern part of the bay faces the open sea. Three rivers (Sée, Sélune and Couesnon) compose the estuary system. The wandering channel network is the most important morphological process regarding the schorre evolution.

In the dune system of the Bec d'Andaine, a north-south

beach drift builds a sand spit entering into the estuary. A channel issuing from the estuary could erode these sandy beaches.

Results and discussion

During the last decade, the evolution of the bay was very different between the western and the eastern parts (*figure*).

To the west of Hirel, the shell bar supply decreases (sector a). Thus, the coastline, protected by the shell bars, becomes more vulnerable to the few violent north and north-east storms. From Hirel to the Chapelle Sainte-Anne, this supply remains stable (sector b). Some shell bars have occurred along the front of the schorre, which could extend over them (Bonnot-Courtois, 1994; L'Homer et al., 1995; Marchand, 1997).

In contrast, to the east of the Chapelle Sainte-Anne, the sandy silting-up increases considerably. The shell bar supply increases at the Chapelle Sainte-Anne (sector c), and in the estuary some sandy bodies generate a local mounting up of the upper beaches, which could be, in turn, colonised by pioneer plants. Thus, the schorre has been rapidly extending since 1986: +180 or +270 m (sector d), +180 m (sector f). Because the channels are not able to evacuate eroded sediments, they do not halt the progression of the schorre. Moreover, they build new deposit areas possibly colonised by close vegetation (sectors e and g). The Sélune River eroded the schorre on the western part of the Roche Torin and laid down these sediments 2 km farther on (sector g) where the schorre continued to progress: +360 m.

The dune system of the Bec d'Andaine is still being eroded by a channel since March 1987, sometimes more than 100 m (sector h). Simultaneously, the dune-spit on the southern part grows southward. In 1997, it was split from the northern part by the channel.

Vegetation has gained 96 ha during the last 10 years (Marchand, 1997). These gains have decreased since the last evaluation done from 1984 to 1989: +118 ha during the last 5 years (Levasseur, 1990).

1. Introduction

La baie du Mont-Saint-Michel (*figure*), au fond du golfe normand-breton, est caractérisée par des marées d'amplitudes exceptionnelles (15 m en période de vives-eaux). Elle couvre environ 500 km², ce qui permet de suivre son évolution à l'aide de l'imagerie satellitale. Le Rhun (1982) s'est intéressée à la végétation et Zbinden (1988) aux matières en suspension dans les eaux de la baie. D'autres ont étudié les principaux ensembles géomorphologiques selon une approche systémique qualitative et statique, à partir d'une composition colorée Spot-XS (L'Homer et Minoux, 1987), Landsat-TM (Bariou et al., 1988) ou de photographies aériennes (Le Rhun et Verger, 1977). Parce que ce site présente une grande dynamique sédimentaire,

une actualisation quantitative des connaissances morphocinématiques globales devenait nécessaire depuis une dizaine d'années. Or, parcourir l'ensemble du terrain dans un laps de temps limité pour reconstituer une vue synoptique, est difficile. D'autant que certaines zones ne sont pas accessibles à pied (delta estuarien) ou sont si éloignées de la côte que la marée laisse peu de temps pour s'y rendre et y travailler (récif des Hermelles).

L'imagerie satellitale offre une grande puissance d'acquisition instantanée à moyenne échelle. Une série multitemporelle d'images satellitales de 1986 à 1995 a été utilisée pour cette étude morphocinématique globale et quantitative des grandes tendances du haut estran de la baie. Les données spatiales et leurs traitements sont explicités, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Puis

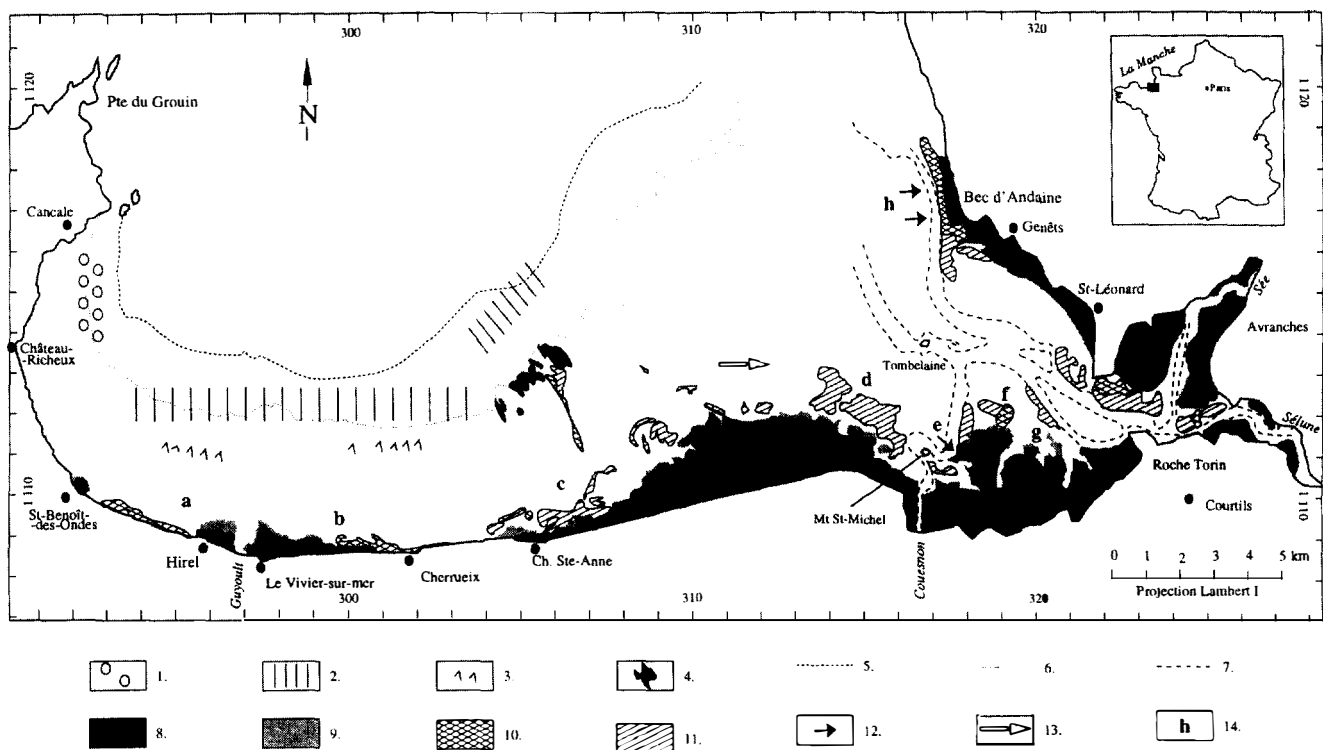


Figure. La baie du Mont-Saint-Michel le 15/01/1995 : évolution depuis 1986 et perspectives pour les schorres et sables de haut estran. 1. Parcs à huîtres. 2. Bouchots. 3. Pêcheries. 4. Récif des Hermelles. 5. Isobathe 0 C.M. 6. Limite inférieure de la mer sur les images satellitales. 7. Chenaux le 15 janvier 1995. 8. Schorre. 9. Progression du schorre. 10. Sables de haut estran depuis 1986. 11. Progression des sables de haut estran observée de 1986 à 1995. 12. Érosion du front de végétation. 13. Sens de développement des accumulations sableuses de haut estran. 14. Secteur dont l'évolution est discutée dans le texte.

The Mont-Saint-Michel bay on 15 January 1995: evolution since 1986 and perspectives for the schorres and the high flat. 1. Oyster farmers. 2. Mussel beds. 3. Fisheries. 4. Hermelles reef. 5. 0 C.M. isobath. 6. Lowest limit of the sea for all satellite data. 7. Channels on 15 January 1995. 8. Schorre. 9. Prograded schorre. 10. High flat sands since 1986. 11. High flat sand deposits from 1986 to 1995. 12. Erosion of the schorre. 13. Direction of progradation of high flat sand banks. 14. Evolution of this sector is discussed in the text.

les unités géomorphologiques sont décrites, avec les limites à leur cartographie par télédétection. Enfin, la dynamique sédimentaire du haut estran est discutée (Marchand, 1997).

2. Les données satellitales et leurs traitements

Quatre scènes satellitales ont été utilisées. Deux proviennent du capteur HRV du satellite Spot en mode multispectral (XS), l'une acquise le 9 juin 1986 à 10h30 TU (réf. K032-J252), la seconde le 15 janvier 1995 à 11h22 TU (réf. K032-J252). Cette dernière est le résultat d'une programmation synchrone d'une mission sur le terrain. Deux images ont permis un suivi durant cet intervalle : une a été fournie par le capteur TM (*Thematic Mapper*) du satellite Landsat le 11 mars 1987 à 10h45 TU (réf. P2 R26 Q4), l'autre est une donnée expérimentale du capteur OPS (OPTical Sensor) du satellite japonais JERS acquise le 29 juillet 1992 à 11h15 TU (réf. Path 330 Row 219) évaluée par ailleurs (Deroin et al., 1997). Les images SPOT correspondent à des états de marée moyenne (coef.

70), tandis que l'image de Landsat s'inscrit dans une période de mortes-eaux (coef. 40) et celle de JERS dans une période de vives-eaux (coef. 90). Le haut estran et l'ensemble du delta estuarien sont exondés sur les quatre images.

Ces données ont été corrigées géométriquement par la méthode du plus proche voisin, afin d'obtenir des images en projection Lambert I qui soient superposables et qui permettent de quantifier les évolutions. Des classifications non supervisées, par nuées dynamiques, ont été réalisées dans un premier temps sur chacune des images satellitales. Cette méthode classique de segmentation offre l'avantage de ne pas nécessiter de connaissances a priori sur le site (FRALIT, 1977). En revanche, pour obtenir des spatio-cartes globales comparables entre elles, la difficulté réside dans le choix des classes finales. Six classes bien différenciées ont été retenues à chaque fois : sables, sablons, vases, schorres, mer (eau salée) et chenaux (eau saumâtre). La réalisation de quatre spatio-cartes a été, à chaque étape, contrôlée en terme de cohérence avec les connaissances et les données du terrain. Par la suite, pour l'étude multitemporelle, seules les classes « sables » et « schorre » caractérisant le haut estran ont été comparées.

La cartographie du réseau de chenaux réalisée en 1995 a été conservée pour la carte finale, puisqu'elle explique une grande part de l'évolution du haut estran de la partie orientale de la baie (*figure*).

3. Les unités géomorphologiques

Le paysage-type de la baie du Mont-Saint-Michel est celui des *wadden* caractérisés par la tanguie, dépôt argilo-sableux lité et fortement carbonaté (40 à 55 %). Des différences apparaissent sur les données spatiales selon la teneur en eau. Celle-ci dépend principalement de l'étagement sur l'estran et de la teneur en argile de la couche superficielle du dépôt. Les parties hautes sont colonisées par la végétation halophile (schorre) parfois pâturée (prés salés) (Verger, 1968 ; Lang et al., 1973 ; Larssonneur, 1989). Ces herbues sont parfaitement identifiables sur les données satellitales. D'autres paysages se surimposent localement à cette uniformité d'ensemble et trois domaines peuvent être isolés (*figure*).

1) Le domaine de golfe maritime : situé dans les parties méridionale et occidentale de la baie, il est abrité de l'onde de marée par le massif de Saint-Malo. Ainsi, les courants giratoires à rotation senestre sont très atténués. La houle de nord-ouest, bien que réfractée, devient prédominante. Ici, les paysages surimposés aux *wadden* sont :

- les bancs coquilliers, mis en place par la houle depuis le bas estran vers le haut estran ; leur progression achevée, ils s'aplanissent et sont colonisés par les halophytes ; ces éléments sont présents dans toute la partie occidentale de la baie, à l'exception de la rade de Cancale ; la résolution spatiale des données satellitales (de 18 à 30 m) permet de suivre les bancs coquilliers depuis la haute *slikke* ; en-deçà, les bancs embryonnaires ne peuvent être détectés ;
- le récif des Hermelles, construction biologique située sur le bas estran, est mis en place à partir de matières en suspension dans les eaux (sablon), captées et consolidées par des annélides ; de structure discontinue, il forme un *patchwork* avec l'eau et les sablon d'estran ; ainsi, il se confond souvent sur les données spatiales avec l'eau et/ou les sédiments ;
- les installations conchylicoles ont un impact sur la dynamique sédimentaire en freinant les courants et en enrichissant le stock sédimentaire en coquilles et en bio-dépôts argileux ; l'emprise spatiale d'une installation est très inférieure à la résolution spatiale des données et ne peut être détectée automatiquement.

2) Le système estuarien : il est formé par trois fleuves côtiers (Sée, Sélune et Couesnon) dans la partie orientale de la baie. Bien qu'il soit ouvert sur le large, les courants présentent des vitesses très atténuées, hormis dans les chenaux anastomosés et divagants. Ceux-ci constituent l'agent morphologique le plus efficace pour la progradation ou l'érosion des schorres. La cartographie automatique des chenaux à partir des images satellitales ne pose problème que lorsque leur niveau de remplissage est faible (période d'étiage) et l'écoulement très diffus.

3) Le système dunaire du Bec d'Andaine : il est exposé aux houles et aux tempêtes de nord-ouest et est caractérisé par une dérive littorale nord-sud, dont la conséquence est la construction d'une flèche sableuse pénétrant le système estuarien au sud. Le cordon dunaire peut être érodé par un chenal estuarien. Les sables de haut estran sont partout bien visibles sur les images spatiales.

4. Résultats – Discussion

Durant la dernière décennie, l'évolution de la baie n'a pas été spatialement homogène (Marchand, 1997). Une nette différence apparaît entre l'ouest et l'est, la frontière pouvant être symbolisée par une ligne joignant la Chapelle-Sainte-Anne au récif des Hermelles (*figure*).

Dans la partie occidentale, la situation semble stable. À l'ouest d'Hirel, le rechargement des cordons s'est ralenti (secteur a). Les bancs coquilliers y constituent pourtant une barrière protectrice naturelle du trait de côte. Celui-ci, constitué par la digue médiévale de la Duchesse-Anne, est installé sur un cordon coquillier fossile. Dans ce secteur, le trait de côte semble ainsi fragilisé face aux tempêtes de nord et de nord-est, rares mais violentes. À l'est d'Hirel, l'alimentation du haut estran en cordons coquilliers s'effectue à un rythme constant (secteur b). Des bancs coquilliers se sont développés en bordure du schorre, à l'est du Vivier-sur-Mer, entre 1986 et 1992 (Bonnot-Courtois, 1994 ; L'Homer et al., 1995 ; Marchand, 1997). Les deux pointes aux Herbes ont progressé ; pourtant celle de la rive gauche du Guyoult a connu un développement plus rapide.

Au contraire, dans les parties médiane et orientale, l'ensablement a fortement progressé. Les bancs coquilliers se sont beaucoup développés à la Chapelle-Sainte-Anne (secteur c). Dans la baie estuarienne, d'importants bancs sableux ont envahi le haut estran : crochon du Bec d'Andaine, nord de la Roche-Torin, est et ouest du Mont-Saint-Michel. Ils provoquent un exhaussement local qui rend alors les hautes plages accessibles aux halophytes pionnières (*Spartina townsendi* et *Salicornia herbacea*). De fait, l'extension du front des herbues a été parfois rapide : +180 m voire +270 m (secteur d), +180 m (secteur f).

Le Couesnon a été dévié vers l'est par un corps sableux se développant sur sa rive gauche. Pour la première fois, en janvier 1995, ce fleuve côtier formait une boucle autour du Mont-Saint-Michel et érodait l'herbu du grand banc à l'est (secteur e). Ainsi, dans ce secteur, le bilan positif a été diminué par cette érosion récente (+60 m). Cependant, le courant du Couesnon, affaibli par ce long méandre, ne parvient pas à transporter les sédiments suffisamment loin. Ceux-ci constituent alors une levée sableuse sur la rive droite du fleuve sur laquelle pourrait progresser, vers le nord, l'herbu adjacent.

La digue submersible de la Roche-Torin a été arasée en 1984, dans la perspective que la divagation de la Sélune érode l'herbu en arrière de l'ouvrage, voire déstabilise le grand banc qui menaçait déjà le paysage de grèves nues à l'est du Mont-Saint-Michel. Onze ans après, le bilan est

négatif, puisque la superficie érodée est très faible, tandis qu'en aval, les sédiments redéposés ont été colonisés par le schorre qui a ici progressé de 360 m (secteur g).

Ainsi, la capacité d'érosion des chenaux apparaît insuffisante. Car, si un chenal parvient à éroder, il ne parvient pas à transporter les sédiments jusqu'au large et les dépose en aval sous forme de grande levée latérale. La proximité de l'herbu livre cette nouvelle zone de dépôts à la colonisation végétale (secteurs e et g).

Entre l'embouchure de la Sée et de la Sélune, la végétation a enregistré la plus grande progression (+390 m). Celle-ci est liée à la position des deux cours d'eau, qui sont restés distants durant l'essentiel de la période.

Le bilan concernant l'herbu de Genêts est relativement stable sur la période de juin 1986 à janvier 1995. Toutefois, ce schorre, au fil des marées, offre des temps de réponse très courts à la divagation des chenaux. De sorte que ce solde nul ne doit pas laisser supposer une stabilité permanente de son front.

L'évolution du secteur du Bec d'Andaine a été contrôlée par un grand chenal qui apparaît le long du cordon dunaire, sur l'image de mars 1987 (secteur h). Depuis, l'érosion du profil des plages et des dunes est constante, dépassant parfois 100 m. Pourtant, dans le même temps, le crochon s'est fortement étiré vers le sud, pénétrant d'autant le système estuarien. Cette progradation de l'extrémité du système, globalement en recul, traduit la prédominance de la dérive littorale nord-sud sous l'action de

6. Références

Bariou R., Hubert L. et Le Hénaff F. 1988. Image LANDSAT 5 TM de la région du Mont-Saint-Michel (France), *Photo-interprétation*, 1, 4, 24–26

Bonnot-Courtois C. 1994. *Les bancs coquilliers du haut estran de la baie du Mont-Saint-Michel entre Saint-Benoît-des-Ondes et la Chapelle-Sainte-Anne*, Rapport Diren, Ecole pratique des hautes études, Dinard, 173 p.

Deroin J.-P., Marchand Y. et Auffret J.-P. 1997. Littoral survey using the JERS-OPS multispectral sensor. Example of the Mont-Saint-Michel Bay (Normandy, France), *Remote Sensing of Environment*, 62, 2, 119–131

Équipe FRALIT. 1977. *Téledétection du littoral océanique de la France*, ENS Montrouge-EPHE, 310 p.

L'Homer A. et Minoux L. 1987. Applications des données multispectrales Spot à la cartographie des sédiments de la baie du Mont-Saint-Michel (Bretagne et Normandie, France), in : *Mer et littoral, couple à risque*, Biarritz (France), 13

L'Homer A., Caline B. et Bonnot-Courtois C. 1995. Intérêt archéologique des bancs coquilliers du secteur occidental de la baie du Mont-Saint-Michel, in : *Les dossiers du Centre régional d'archéologie d'Alet*, R, 47–58

Lang J., Lucas G. et Mathieu R. 1973. Le domaine benthique de la

la houle sur la haute plage, tandis que les basses et moyennes plages sont soumises à l'érosion par le chenal.

5. Conclusion

Au total, le bilan de juin 1986 à janvier 1995 fait apparaître un ralentissement des conquêtes par la végétation (Marchand, 1997). En effet, le solde global sur dix ans entre Roche-Torin et le Mont-Saint-Michel est de +96 ha (progression : 116 ha, érosion : 20 ha), tandis qu'il avait été évalué sur cinq ans à +118 ha entre 1984 et 1989 (Levasseur, 1990).

En 1997, les tendances décrites ci-dessus se confirment. Le cours du Couesnon forme toujours une boucle entourant le Mont-Saint-Michel. Ceci s'accompagne, sur la rive droite du fleuve, d'une érosion du bord ouest de l'herbu du grand banc, qui progresse vers le nord sur la levée sableuse. Au Bec d'Andaine, l'érosion par le chenal a ouvert une large brèche dans le cordon dunaire isolant la pointe méridionale.

Notre démarche utilisant l'imagerie satellitale a ainsi permis d'actualiser la carte morphologique et dynamique de la baie du Mont-Saint-Michel. Ce type d'approche est devenu indispensable pour les sites à large estran, difficiles d'accès, et qui présentent de surcroît une dynamique sédimentaire importante.

baie du Mont-Saint-Michel (Manche), *Sciences de la Terre*, 18, 1, 21–78

Larsonneur C. 1989. La baie du Mont-Saint-Michel : un modèle de sédimentation en zone tempérée, *Bulletin de l'institut de géologie du bassin d'Aquitaine*, 46, 5–73

Le Rhun J. et Verger F. 1977. Un milieu intertidal : la baie du Mont-Saint-Michel, *Photo-interprétation*, 5–6, 45

Le Rhun J. 1982. Étude physique de la baie du Mont-Saint-Michel, *Thèse*, Université Paris 1, 243 p.

Levasseur J.E., Le Rhun J., Bonnot-Courtois C. et Guenegou M.-C. 1990. Conséquences du dérasement de la digue de la Roche-Torin sur la dynamique des prés salés du secteur sud-est de la baie du Mont-Saint-Michel (France), in : *1^{er} Symposium Int. de l'Association Européenne Eurocoast*, 9-13 juillet, 278–283

Marchand Y. 1997. *Cartographies sédimentologiques et morphologiques par téledétection de la baie du Mont-Saint-Michel (Ouest de la France). Comparaison de capteurs et de méthodes de segmentation d'images*, Doc. BRGM, 259, Série Technique et Méthode, 196 p.

Verger F. 1968. Marais et wadden du littoral français, *Thèse*, Université de Bordeaux, 541 p.

Zbinden R.M. 1988. Analyse spectroradiométrique de formations sédimentaires de la baie du Mont-Saint-Michel, in : *Actes du 2^{ème} forum du Groupe français de géomorphologie*, 24–25 novembre, *Bulletin du Centre de géomorphologie-CNRS*, Caen, 36, 75–77