

Evolution des flèches dunaires à pointe libre de Bretagne depuis les
années 1950/*Breton dune-spits evolution since the 1950s*

Madame Catherine Yoni

Citer ce document / Cite this document :

Yoni Catherine. Evolution des flèches dunaires à pointe libre de Bretagne depuis les années 1950/*Breton dune-spits evolution since the 1950s*. In: Géomorphologie : relief, processus, environnement, Septembre 1997, vol. 3, n°3. pp. 209-226;

doi : 10.3406/morfo.1997.920

http://www.persee.fr/doc/morfo_1266-5304_1997_num_3_3_920

Document généré le 13/06/2016

Résumé

Résumé Alors que les rivages meubles du monde entier connaissent dans leur ensemble un recul généralisé, les flèches sableuses à pointe libre paraissent particulièrement menacées. En effet, ces formes sont soumises à des évolutions rapides en fonction de la modification de paramètres d'ordre climatique ou anthropique. La comparaison de clichés aériens pris par l'I.G.N. ainsi que les relevés effectués sur quinze sites bretons de ce type ont permis d'établir un bilan général depuis les années 1950. Bien qu'ayant des caractères morphologiques et granulométriques variés, ces flèches ont presque toutes un budget sédimentaire négatif sur le long terme. Dans certains cas, les bilans interannuels ont été constamment négatifs depuis le début de la période considérée. Dans d'autres, retraits et avancées de la ligne de rivage se sont succédé. Seules trois des flèches étudiées ont un bilan général positif, même si leur évolution paraît nettement moins favorable ces dernières années.

Abstract

Abstract Sandy coasts of the world are in retreat for several years. In this context, dune-spits seem to be particularly in danger. They are submitted to fast evolutions due to the modifications of climatic or anthropogenic parameters. The comparison of aerial photographs from the National Geographical Institute and the direct surveying of some spits have allowed to analyse the evolution of 15 breton dune-spits since the 1950s. Although they have different morphologies and grain size distribution, 12 of them have a negative sedimentary balance. In some cases, the interannual dynamics were continuously negative. But in some other sites, retreat and progression of the coastline alternated. Only 3 spits have a long term positive sedimentary balance, with decreasing value since the last years.

Evolution des flèches dunaires à pointe libre de Bretagne depuis les années 1950

Breton dune-spits evolution since the 1950s

Catherine YONI *

Résumé

Alors que les rivages meubles du monde entier connaissent dans leur ensemble un recul généralisé, les flèches sableuses à pointe libre paraissent particulièrement menacées. En effet, ces formes sont soumises à des évolutions rapides en fonction de la modification de paramètres d'ordre climatique ou anthropique. La comparaison de clichés aériens pris par l'I.G.N. ainsi que les relevés effectués sur quinze sites bretons de ce type ont permis d'établir un bilan général depuis les années 1950. Bien qu'ayant des caractères morphologiques et granulométriques variés, ces flèches ont presque toutes un budget sédimentaire négatif sur le long terme. Dans certains cas, les bilans interannuels ont été constamment négatifs depuis le début de la période considérée. Dans d'autres, retraits et avancées de la ligne de rivage se sont succédé. Seules trois des flèches étudiées ont un bilan général positif, même si leur évolution paraît nettement moins favorable ces dernières années.

Mots clés : flèche dunaire à pointe libre, dynamique littorale, bilan érosion/progradation. Bretagne.

Abstract

Sandy coasts of the world are in retreat for several years. In this context, dune-spits seem to be particularly in danger. They are submitted to fast evolutions due to the modifications of climatic or anthropogenic parameters. The comparison of aerial photographs from the National Geographical Institute and the direct surveying of some spits have allowed to analyse the evolution of 15 breton dune-spits since the 1950s. Although they have different morphologies and grain size distribution, 12 of them have a negative sedimentary balance. In some cases, the interannual dynamics were continuously negative. But in some other sites, retrait and progression of the coastline alternated. Only 3 spits have a long term positive sedimentary balance, with decreasing value since the last years.

Key words : dune-spits, littoral dynamic, erosion/progradation balance sheet, Brittany.

Abridged English version

Dune-spits are highly mobile formations bound to beach drift due to a swell that reaches obliquely the shoreline. In general, there is a sedimentary deficit in the updrift part of the spit, and an accumulation downdrift. If the sedimentary budget is in equilibrium, the erosion/progradation balance sheet is approximately equivalent to zero.

The use of aerial photographs from the National Geographical Institute and the direct survey at some sites have allowed us to follow the evolution of the coastline of 12 dune-spits in Brittany for the last 40 years (fig. 1 and 2). The comparison of negatives has permitted us to calculate the erosion/progradation balance sheet between 1952 (1961 for some sites) and today (fig. 3). Three spits present a positive balance sheet (l'Ile Blanche, Pemp Hent and Pen er Lé),

* Université de Bretagne Occidentale, Faculté des Lettres et Sciences Sociales Victor Ségalen, Département de Géographie, 20 rue Duquesne, BP 814, 29285 BREST Cedex (U.R.A. 904 du C.N.R.S. « Dynamique et Gestion des Espaces Littoraux »).

but others have a negative one for long term. For every site, erosion periods have followed accumulation periods, except for Sables-d'Or-les-Pins and Kernic, that have suffered a continuous erosion since the 1950s (fig. 4). Strong storms are one of the causes of the erosion. But their impact is often accentuated by human perturbations (fig. 5). For example, the tourist over-frequenting (free camping, car driving over the dunes) during the 1960s and the 1970s has contributed to the destruction of the vegetation. As a result, wind deflation was favoured. At Kernic and Sables-d'Or-les-Pins, sand and limestone extractions in the strand zone to less than 16 meters depth depleted the sedimentary stock. For this reason, we can expect a breaking up of these two spits in the coming years.

On the multiple-ridges spits, ridges seem to aggradate slower today than a few years before. At Sables-d'Or-les-Pins, no new ridge was created since 1961. For some years, the recent ridges are only briefly individualized. On the contrary, accretion of ridges creates a kind of sandy plateau : this could indicate a change in the direction of dominating winds (fig. 6).

In some sites, there is a recent trend to sand accumulation in coves that are protected by the spits. Sediments accumulation derives apparently of swell on the foreshore during storms.

INTRODUCTION

Actuellement, presque partout, les rivages meubles du monde entier connaissent un recul généralisé. Les flèches sableuses dunifiées à pointe libre n'échappent pas à cette règle. On qualifie ainsi une accumulation dunaire ancrée au littoral à l'une de ses extrémités, tandis que l'autre reste libre. Leur dynamique est liée à la présence d'une dérive littorale résultant de l'obliquité de la houle par rapport à la ligne de rivage. On peut considérer que ce courant de dérive latéral est l'un des éléments essentiels du transport sédimentaire (Davies, 1959), mais non le seul, et la condition *sine qua non* de l'existence d'une flèche à pointe libre. Conformément à l'orientation de la dérive littorale, on constate le plus souvent un déficit dans le budget sédimentaire en amont, et un engraissement vers l'aval (Psuty, 1992).

En Bretagne, les flèches à pointe libre se situent à l'entrée d'estuaires ou d'anses qui échancrent le littoral. L'existence d'un exutoire ou d'un goulet de marée à leur extrémité entretient un effet de chasse au cours du jusant et en période de crue. Une partie du sable porté vers la partie distale des flèches, par la dérive littorale, est alors transporté vers le bas de l'estran et la plage sous-marine. Par la suite, la remise en mouvement des particules sédimentaires par les courants de flot permet une réalimentation de la racine des flèches, et leur rééquilibrage par la dérive littorale. Le système s'auto-entretient par « recyclage » des sédiments en fond de baie et par des apports extérieurs au site venant compenser les pertes affectant la partie proximale des flèches. Ce fonctionnement induit une grande mobilité et aussi une grande fragilité de ces accumulations. En effet, en cas de déséquilibre dans le budget sédimentaire, le développement de leur extrémité distale aboutit tôt ou tard à une rupture, avec souvent, à plus ou moins long terme, disparition de la flèche (banc de Péleuz en baie de Goulven, Hallégouët et Moign, 1976).

Quinze accumulations de ce type ont été étudiées en Bretagne (Yoni, 1995). L'examen des missions aériennes successives de l'I.G.N. réalisées depuis le début des années 1950 et les mesures de la position de la ligne de rivage à partir de bornes implantées sur quelques sites ont permis de préciser leur évolution sur les quatre dernières décennies.

PRÉSENTATION DES SITES ÉTUDIÉS

Les flèches dunaires prises en considération sont réparties entre la baie du Mont-Saint-Michel et l'embouchure de la Loire (fig. 1). Elles peuvent être classées en deux grandes catégories selon le nombre de crêtes qui les composent. Quatre d'entre elles sont constituées d'une succession de crêtes dunifiées plus ou moins enchevêtrées (Sables-d'Or-les-Pins, Pemp Hent, Penn ar C'hleuz et l'Aber), qualifiées de flèches de type Darss par A. Guilcher (1978 et 1984). L'évolution des flèches armoricaines de ce type n'étant pas liée à un relèvement glacio-isostatique, comme ce fut le cas sur les rives de la mer Baltique (Otto, 1913; Kolp, 1982), et subissant au contraire un relèvement du niveau marin, nous proposons qu'elles soient qualifiées de type Tréfleuz, par référence à la flèche de Penn ar C'hleuz dont la dynamique, décrite par B. Hallégouët (1981), constitue un modèle du genre. Sur ce site, la plupart des crêtes se sont édifiées après 1826, date de la construction d'une digue à l'extrémité de la flèche. La morphologie de celles-ci est assez comparable à celles de la dune de Magilligan Point (Irlande du Nord) décrite par Carter et Wilson (1990). La construction de crêtes dunifiées successives est souvent considérée comme l'indice d'un milieu en progradation (Taylor and Stone, 1996). Les autres flèches bretonnes ont une crête unique.

L'allure générale des flèches, précisée par un certain nombre de transects, permet également de distinguer deux catégories selon l'importance des anses qu'elles protègent. On remarque ainsi que le revers de la plupart des flèches bretonnes est potentiellement inondable par la mer sur plus du tiers de sa longueur (fig. 2, A et B). Quatre sites se distinguent par un ancrage important permettant à la mer de contourner seulement leur partie distale : il s'agit des cordons de Sables-d'Or-les-Pins, de l'Île Blanche, de Pemp Hent, du Pouldu et de Pen er Lé (fig. 2, C et D). Dans le cas des flèches de Kerlouarn, de la Baule de Merquel et de Pen Bron, les migrations de la pointe ont été entravées par un ou plusieurs ouvrages de protection.

La morphologie des flèches peut avoir une influence sur leur résistance à l'érosion. Ainsi, lorsque l'on a affaire à une flèche très étirée, inondable sur la plus grande partie de sa longueur (Mousterlin ouest, Kernic), une érosion marine importante peut s'exercer. Si la couverture végétale est insuffisante ou inexistante par suite de surfréquentation ou de submersion au cours de tempêtes répétées, de nombreuses brèches peuvent se créer, menaçant parfois la survie de la flèche elle-même. Au contraire, une flèche « massive », contournée par la mer à sa seule extrémité (Pemp Hent, Le Pouldu) peut résister plus longtemps à l'érosion, le stock sédimentaire en jeu étant important.

Les flèches étudiées présentent des caractères granulométriques différents. Sur la côte septentrionale de la Bretagne, en presqu'île de Crozon ainsi que dans la partie nord de la Loire-Atlantique, les sédiments recueillis sur les hauts d'estrans et les dunes sont généralement fins (médiane fréquemment comprise entre 0,2 et 0,3 mm), ce qui favorise la déflation éolienne. A Pemp Hent et l'Aber, le grain moyen est souvent inférieur à 0,2 mm. Celui des flèches morbihannaises est habituellement supérieur à 0,3 mm et approche parfois de 0,6 mm. Mais ce sont les flèches de la côte sud du Finistère qui présentent la granulométrie la plus élevée, avec des grains moyens souvent supérieurs à 0,5 mm et pouvant s'élever jusqu'à 1,3 mm dans la partie distale du Cosquer.

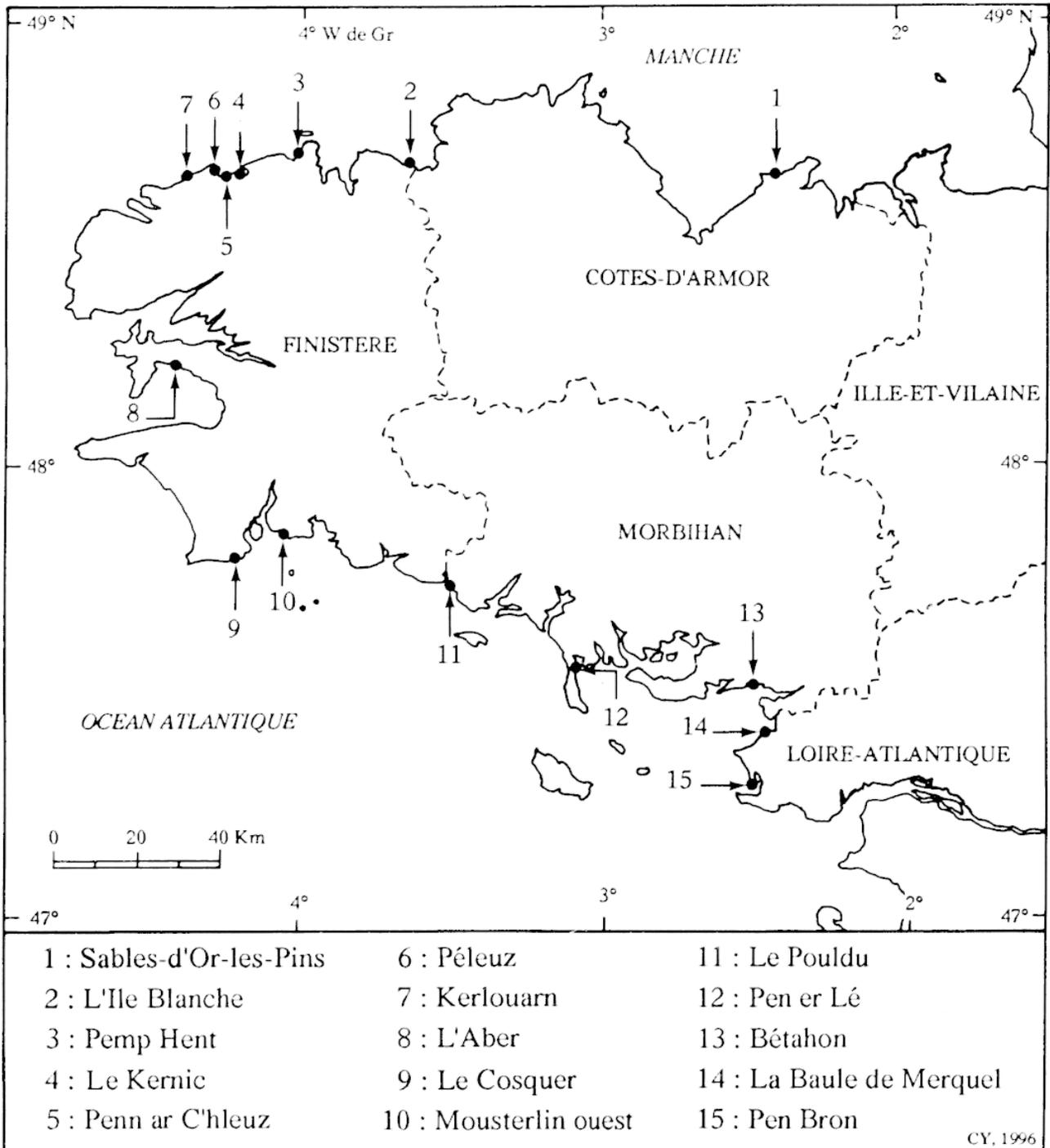


Fig. 1 – Localisation des flèches dunaires étudiées. Fig. 1 – Location of the studied dune-spits.

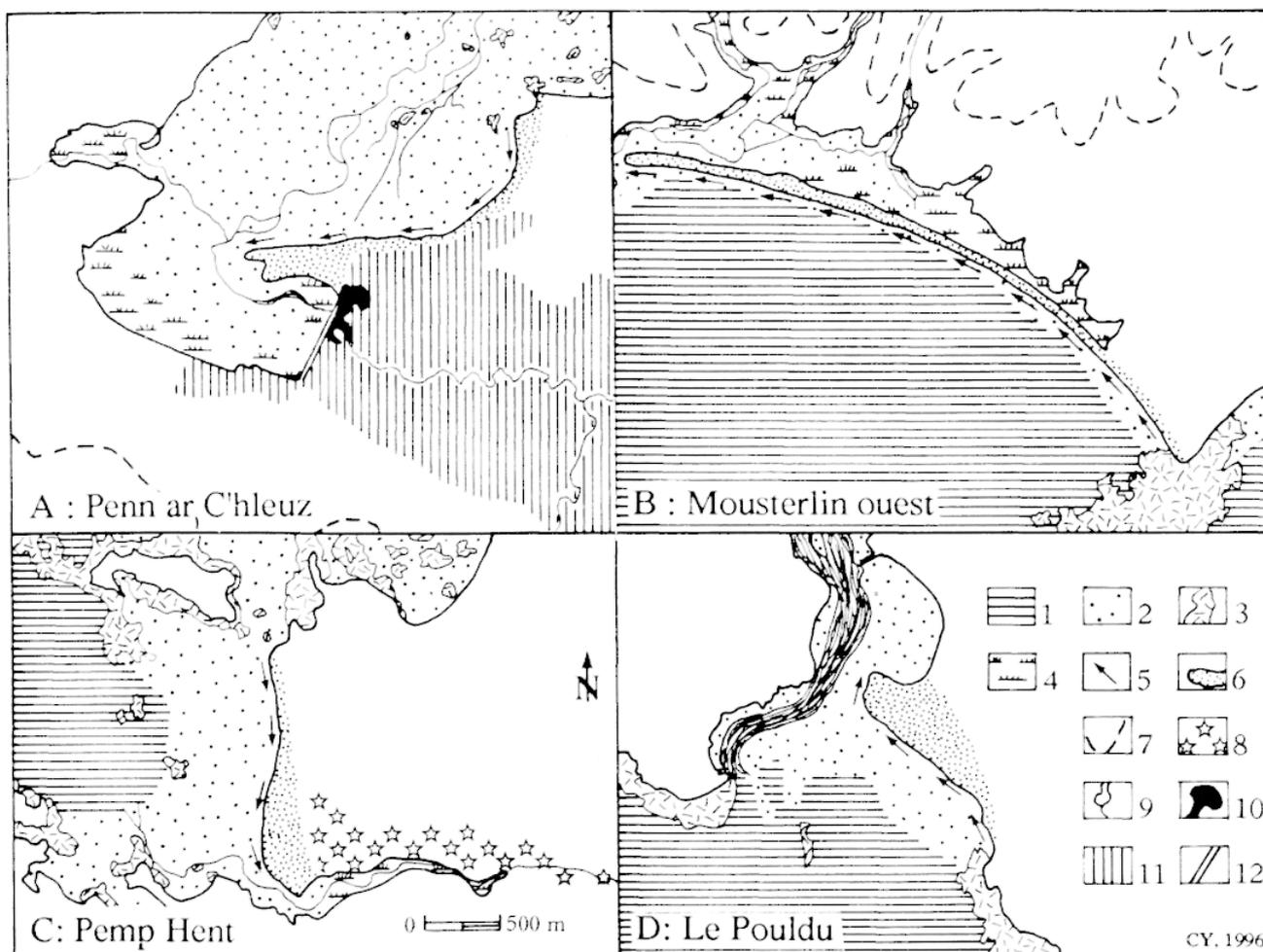


Fig. 2 – **Types morphologiques.** 1 : < 0 hydrographique; 2 : estran meuble; 3 : platier rocheux à écueils; 4 : schorre; 5 : dérive littorale; 6 : flèche dunaire; 7 : falaise morte; 8 : zones inondables après rupture du cordon dunaire; 9 : cours d'eau; 10 : étang; 11 : polder; 12 : digue.

Fig. 2 – **Morphological types.** 1 : < hydrographical 0; 2 : running strand; 3 : rocky strand with reefs; 4 : schorre; 5 : beach drift; 6 : dune-spit; 7 : abandoned cliff; 8 : inundated zones after breaking of the dunes; 9 : river; 10 : pond; 11 : polder; 12 : pier.

La granulométrie des sédiments module le bilan des alternances saisonnières érosion/accumulation sur une longue période. En effet, le volume des particules sableuses mises en mouvement est fonction de leur taille et de la force des agents dynamiques. Pour schématiser, on peut dire que plus ceux-ci sont intenses, plus ils sont susceptibles de transporter des grains de taille importante. De même, lorsque la dimension de ces derniers diminue, leur déplacement par des agents dynamiques de faible puissance se trouve facilitée (Maiti et Thomas, 1975; Thomas, 1975; Leclerc *et al.*, 1976; Sherman and Bauer, 1993). On devrait donc s'attendre à une plus grande résistance à la déflation éolienne des flèches cornouaillaises et morbihannaises, et à des phénomènes d'accumulation plus importants vers l'extrémité des flèches septentrionales.

Les caractéristiques morphologiques et sédimentologiques des sites étudiés se traduisent par des évolutions différentes qui sont également une réponse ou une

adaptation à des dynamiques variées. Pour vérifier le comportement de ces accumulations par rapport au phénomène général de repli des côtes sableuses dans le monde, nous avons essayé de chiffrer le recul ou la progradation des flèches bretonnes sur les quarante dernières années.

METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DE LA DYNAMIQUE DE LA LIGNE DE RIVAGE

Deux méthodes complémentaires ont été utilisées pour l'évaluation des gains et des pertes par rapport à la ligne de rivage. Cinq flèches tests (l'Aber, le Cosquer, le Pouldu, Bétahon et la Baule de Merquel) ont fait l'objet d'un suivi *in situ* entre 1993 et 1995 grâce à la mise en place de bornes soigneusement repérées sur le terrain. Leur position depuis le trait de côte a été contrôlée régulièrement en fonction d'alignements bien définis; il s'agissait de mesurer la distance entre la borne et la limite de la végétation dunaire en période d'accumulation, ou entre la borne et le rebord de la falaise en période d'érosion. Le site de Penn ar C'hleuz a été également suivi selon le même principe, depuis l'automne 1989.

Les mesures *in situ* doivent toujours être relativisées, car elles peuvent avoir été effectuées lors d'une période exceptionnelle pendant laquelle on a enregistré des progradations importantes, ou au contraire des érosions catastrophiques, ou encore une stabilité totale de l'ensemble d'un ou de plusieurs sites. Pour avoir des résultats fiables pour l'évolution d'un littoral, l'idéal est de mettre en place un nombre assez important de bornes régulièrement réparties, et de les suivre pendant une longue période (Hallégouët et Moign, 1979). Pour les flèches dunaires, les bornes ont été disposées depuis la racine jusqu'à l'extrémité avec un espacement de 100 à 200 m.

L'évolution de la ligne de rivage a été également observée à partir des clichés réalisés périodiquement par l'I.G.N. depuis 1952. L'utilisation de ces photographies permet non seulement de visualiser graphiquement la dynamique du littoral, mais aussi de calculer la surface des zones touchées par une évolution progressive ou régressive. Les chiffres obtenus d'après photographies aériennes, malgré un certain nombre de défauts connus de la méthode (déformation de la géométrie des lieux, difficulté de situer très exactement la position de la ligne de rivage dans le cas des rivages meubles) permettent cependant une bonne approximation.

Cette technique bien connue est fréquemment employée par de nombreux chercheurs à travers le monde. Parmi les travaux les plus récents, on peut citer : Anthony (1991), Diaw *et al.* (1991), La Cock *et al.* (1992), Fox *et al.* (1995), Morton *et al.* (1995), Orford *et al.* (1995). La première étape du travail consiste à mettre tous les clichés à la même échelle, celle-ci pouvant varier d'une mission à l'autre. Ensuite, on superpose les tracés des différents traits de côte en prenant soin de redresser les photographies à partir de points fixes facilement repérables sur les cartes (bâtiments ou croisements routiers par exemple).

Les échelles des contacts photographiques employés dans le cadre de cette étude étaient comprises entre le 1/10 000 et le 1/40 000. Tous les clichés utilisés ont été effectués au printemps ou en été, entre les mois d'avril et de septembre, à l'exception de deux missions réalisées en octobre sur deux des sites étudiés. Leur comparaison limite donc au maximum les risques de mauvaise appréciation de l'évolution à long terme des flèches, qui pourrait être due à la mise en relation de situations où l'érosion est maximale (hiver) avec des situations de progradation exceptionnelle (été). Pour chacun

des sites étudiés, le décalage entre la première et la dernière série de photographies est au maximum de N années + 2 mois (Penn ar C'hleuz). Dans certains cas, il est exactement de N années + 0 mois (L'Ile Blanche).

Les positions successives de la ligne de rivage ont été reportées deux à deux, à grande échelle (1/12 500), afin de faciliter les mesures. Les comparaisons entre les différents sites pour des périodes de temps inégales sont relativement aisées, car les chiffres concernant les surfaces en érosion ou en progradation ont été traduits en m²/an. L'appréciation, à l'aide de transects, de la dénivellation moyenne entre le sommet et la base du front dunaire pour chacun des sites a également permis d'estimer le volume des sédiments correspondant. Ce bilan est donné en m³/an (fig. 3).

L'utilisation de ces deux techniques permet, d'une part, d'analyser les processus de l'évolution sur quelques années et, d'autre part, de comprendre la dynamique à plus long terme. Dans ce type d'opération, il faut toujours garder à l'esprit que les mesures obtenues ne sont valables que pour le site où elles ont été prises. On devra donc toujours se garder d'étendre les chiffres recueillis pour une dune à des littoraux voisins ou à l'ensemble de la ligne de rivage d'une commune. On évitera également de projeter les moyennes de recul ou de progradation obtenues pour une période donnée dans le futur, la variabilité des agents morphodynamiques considérés pouvant rendre les prévisions caduques.

Liste des sites	Période considérée	Erosion (-) ou progradation (+) en m ²	Erosion (-) ou Progradation (+) en m ³
Sables-d'Or-les-Pins	juin 1961 - mai 1989	- 37 193	- 260 300
L'Ile Blanche	mai 1952 - mai 1990	+ 9 648	+ 9 600
Pemp Hent	mai 1952 - avril 1987	+ 7 193	+ 25 200
Le Kernic	mai 1952 - avril 1987	- 68 772	- 357 600
Penn ar C'hleuz	mai 1952 - juillet 1990	- 5 614	- 19 600
L'Aber	mai 1952 - juillet 1990	- 16 667	- 66 700
Le Cosquer	mai 1952 - juillet 1990	- 46 491	- 148 800
Mousterlin ouest	mai 1952 - juillet 1990	- 15 965	- 24 000
Le Pouldu	mai 1952 - mai 1992	- 26 142	- 88 900
Pen er Lé	juin 1952 - juin 1991	+ 144 210	+ 144 200

Fig. 3 - Bilan de l'évolution de dix flèches dunaires bretonnes depuis 1950-60.

Fig. 3 - Balance sheet of the evolution of ten breton dune-spits since 1950-60.

RÉSULTATS DES OBSERVATIONS DEPUIS 1950

L'examen de la figure 3 permet de classer les flèches en fonction de leur évolution. On constate que, sur les quarante dernières années, la majorité des sites étudiés a reculé. Seuls trois d'entre eux font exception : l'île Blanche, Pemp Hent et Pen er Lé. Si l'on se réfère aux chiffres obtenus pour chacun des sites en comparant les clichés aériens année après année (Yoni, 1995), on remarque que 80 % des sites ont subi une alternance de périodes de récession et d'accrétion.

Sites en érosion

Les flèches de Sables-d'Or-les-Pins (fig. 4a, C) et de Kernic ont enregistré un recul continu depuis 1952. Ce sont celles qui ont le plus reculé sur l'ensemble de la période. Dans les deux cas, l'érosion la plus forte s'est manifestée entre 1978 et 1980-81 (bilan de $-4200 \text{ m}^2/\text{an}$ à Sables-d'Or-les-Pins et $-8700 \text{ m}^2/\text{an}$ au Kernic), en particulier au cours des fortes tempêtes de l'hiver 1978. L'érosion continue de ces deux sites tient principalement à deux causes. La première résulte des extractions d'amendements calcaires opérées par des fonds inférieurs à -20 m sur les deux sites. Devant Sables-d'Or-les-Pins, les extractions de maërl étaient faites jusqu'à une époque très récente à une profondeur comprise entre -7 et -16 m , à moins de 2 km de la côte (Laboratoire Central d'Hydraulique de France, 1982). Ces extractions, en principe arrêtées depuis quelques années, portaient sur un volume annuel moyen d'environ 130000 t/an depuis 1970. Au Kernic, les prélèvements de sable sont faits directement sur l'estran, en arrière de la flèche dunaire, et équivalent officiellement à 15000 t/an . La seconde cause d'érosion est due au sapement exercé à la base de la dune par les courants empruntant un chenal dont les méandres entament la partie distale du cordon. Ce phénomène, intensifié en périodes de crues, s'exerce sur le revers des flèches où il est aggravé, à marée basse, par l'action du vent. Tandis qu'une partie des sédiments tombe par gravité, l'autre est entraînée par les tourbillons éoliens accélérés par l'obstacle créé par le front dunaire taillé en falaise (Thomas 1975), ce qui aboutit rapidement à la régularisation de celui-ci.

Tous les autres sites globalement en recul sur la période 1952-90 ou 1952-92 ont subi, dans la majorité des cas, une alternance de périodes d'érosion et d'accumulation. Cette alternance est liée principalement à la succession d'années à tempêtes et d'années plus calmes. Ainsi, on peut constater que les flèches de la côte méridionale du Finistère ont beaucoup reculé entre 1967 et 1969. La flèche du Cosquer (fig. 4a, A) a semblé-t-il être touchée surtout par les tempêtes de 1963, 1966 et 1967, alors que celle de Moustierlin a été marquée essentiellement par celles de 1966, 1967 et 1969. Au Cosquer, une deuxième période de recul important coïncide avec la période 1969-1978 (fig. 5). Cependant, en l'absence de mesures rigoureuses réalisées à ce moment, permettant notamment d'obtenir un bilan annuel érosion/accumulation, il est difficile de mesurer l'impact exact de chacune de ces tempêtes sur les sites concernés. En effet, comme l'ont démontré Morton *et al.* (1995) pour deux îles-barrières situées sur la côte du Texas, aux États-Unis, le recul du littoral est aggravé lorsque la fréquence des tempêtes est supérieure au temps nécessaire à la reconstitution des réserves sédimentaires détruites par l'érosion.

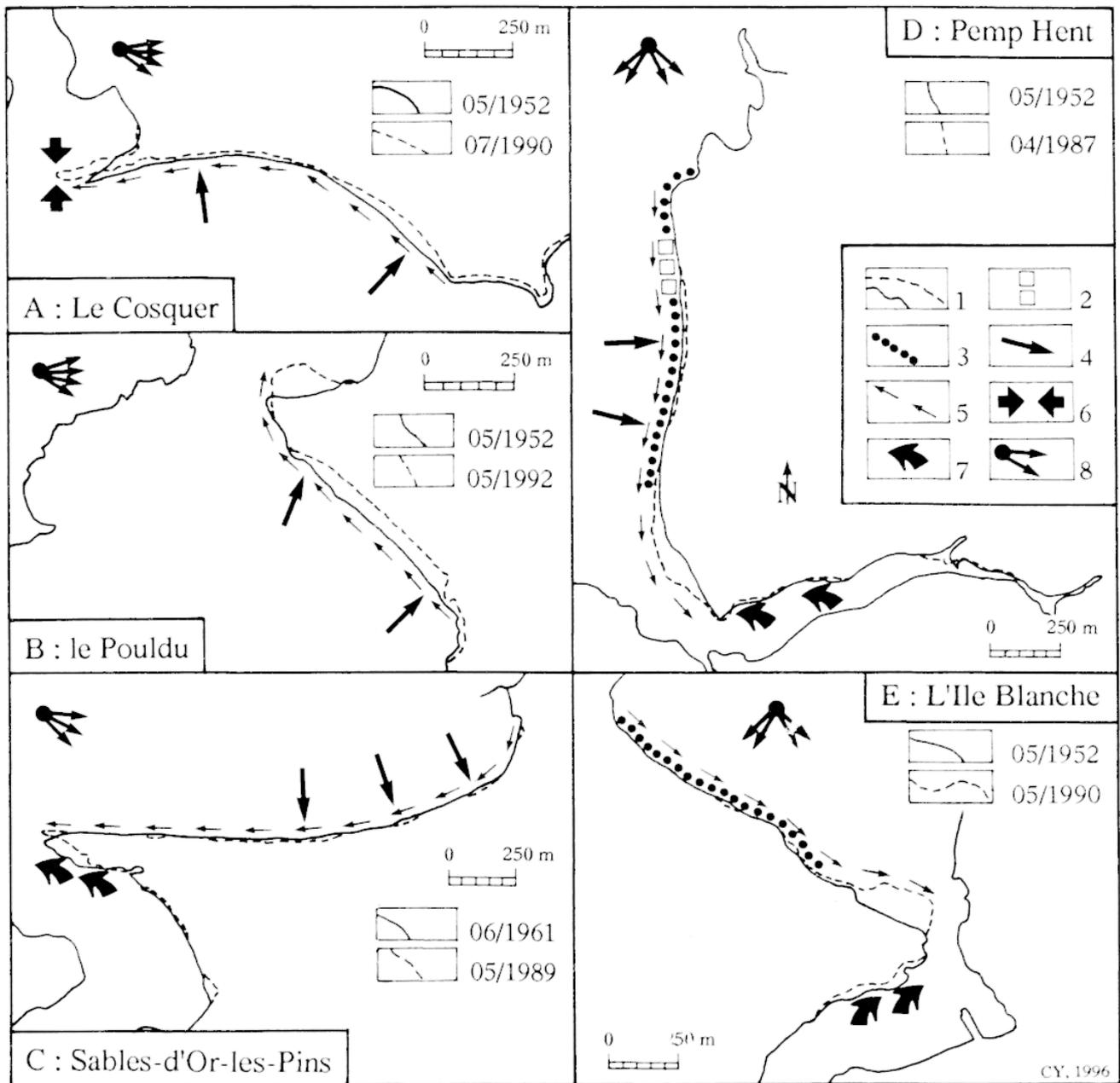


Fig. 4a – Evolution de quelques flèches dunaires depuis 1950-60 en relation avec les agents dynamiques. 1 : ligne de rivage; 2 : mur; 3 : enrochement; 4 : houle; 5 : dérive littorale; 6 : courants alternatifs; 7 : érosion par des méandres fluviaux; 8 : trajectoires des vents de + de 17 m/s (d'après les résultantes mensuelles 1951-80).

Fig. 4a – Evolution of some dune-spits since 1950-60 in relation with the dynamic agents. 1 : shoreline; 2 : seawall; 3 : enrockment; 4 : swell; 5 : beach drift; 6 : alternative currents; 7 : erosion by river meanders; 8 : paths of winds superior to 17 m/s (according to monthly resultants 1951-80).

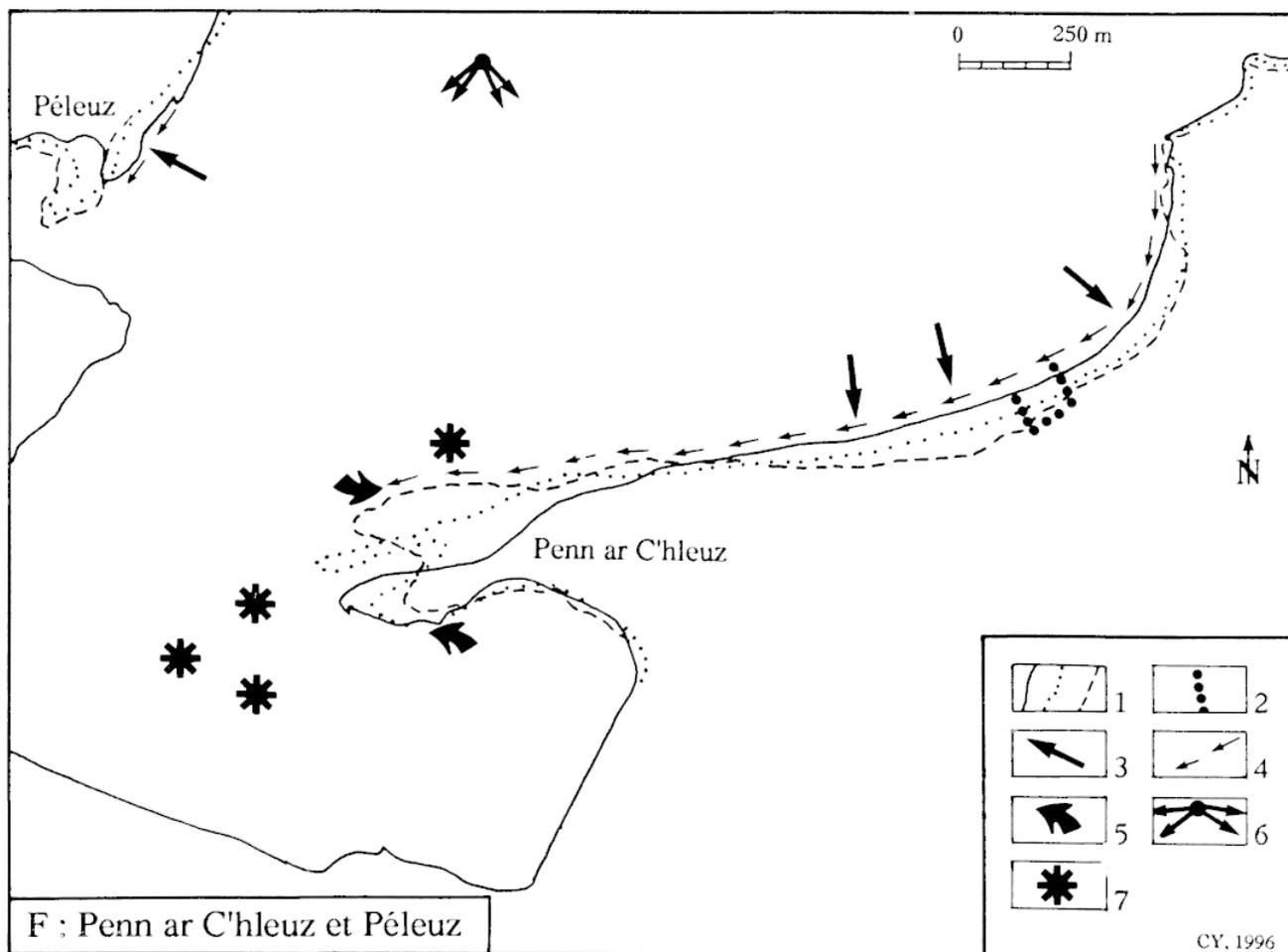


Fig. 4b – Evolution de la flèche de Penn ar C'hleuz depuis 1950-60 en relation avec les agents dynamiques. 1 : ligne de rivage (05/1952, 05/1971, 07/1990); 2 : enrochement; 3 : houle; 4 : dérive littorale; 5 : divagation des chenaux de cours d'eau; 6 : trajectoires des vents de + de 17 m/s (d'après les résultantes mensuelles 1951-80).

Fig. 4b – Evolution of Penn ar C'hleuz spit since 1950-60 in relation with the dynamic agents. 1 : shoreline (05/1952, 05/1971, 07/1990); 2 : enrockment; 3 : swell; 4 : beach drift; 5 : erosion by river meanders; 6 : paths of winds superior to 17 m/s (according to monthly resultants 1951-80); 7 : sand extractions.

Au Cosquer, des actions anthropiques ont tantôt augmenté, tantôt minimisé l'action des tempêtes. Ainsi, la construction d'une digue en 1967, en arrière de la partie distale, en diminuant l'effet de chasse au jusant, a favorisé l'allongement de la flèche (fig. 5 : pic de progradation autour de 1968). L'insuffisance de l'effet de chasse ne permettant plus la remise en suspension d'un volume important de sédiments susceptibles de réalimenter la partie proximale, celle-ci a subi une érosion accélérée au cours des années suivantes (Bodéré *et al.*, 1993). A partir de 1973-74, l'érosion de la partie proximale a pu être freinée par des opérations de remblaiements du cordon dunaire. En dépit des fortes tempêtes enregistrées dans les années 1980, le recul de la flèche est devenu négligeable à partir de 1978, puis nul en 1990 (fig. 5).

L'examen des clichés aériens, dans le cas de Moustierlin ouest, fait penser à la dynamique de certaines îles-barrières migrant progressivement vers l'arrière au fur et à

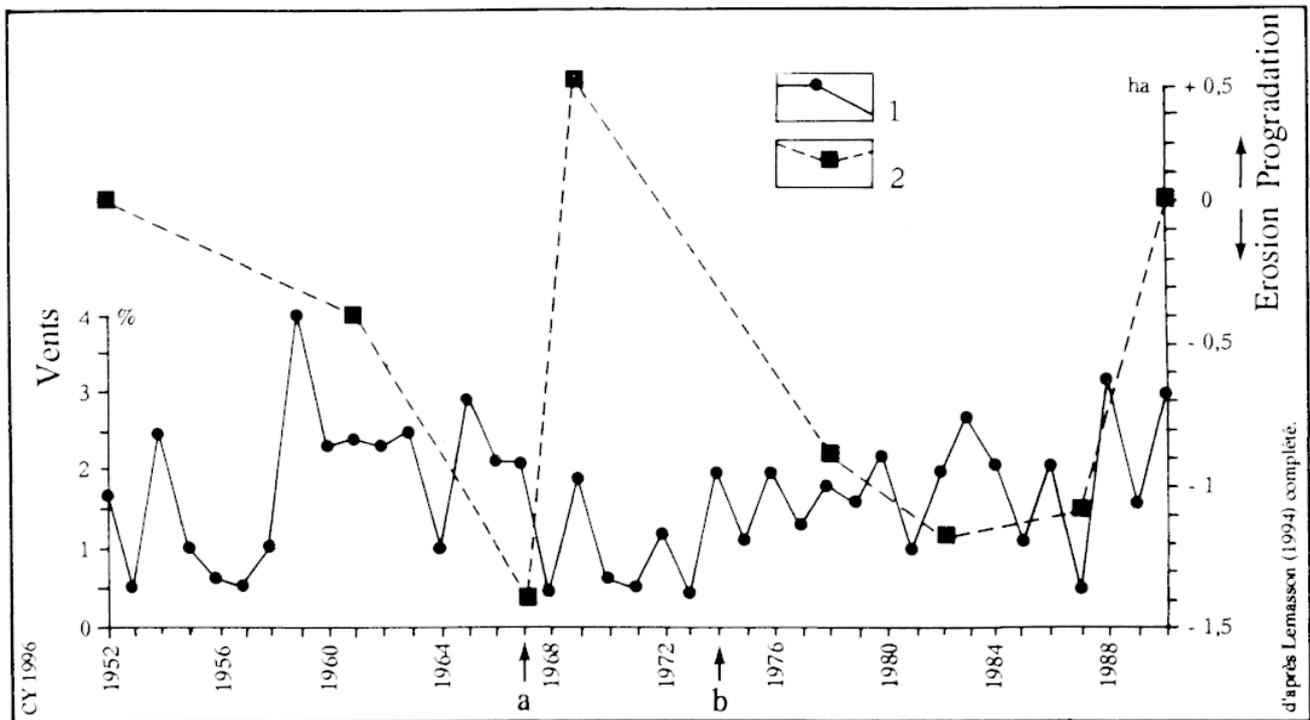


Fig. 5 – Corrélations entre l'évolution de la ligne de rivage, les vents et les actions anthropiques. Exemple du Cosquer. 1 : vents supérieurs à 17 m/s; 2 : évolution de la ligne de rivage; a : construction du pont-digue, b : premiers remblais.

Fig. 5 – Correlations between the shoreline's dynamic, winds and human actions. Example of Le Cosquer. 1 : winds superior to 17 m/s; 2 : evolution of the shoreline; a : construction of a pier, b : first fillings.

mesure des attaques marines (Orford *et al.* 1995). Cependant, l'enrochement d'une partie de cette flèche la rend moins mobile, ce qui pourrait, à plus ou moins long terme, favoriser l'isolement de sa partie distale.

A l'Aber, la période d'érosion la plus vive se situe entre 1978 et 1982 (bilan de - 3 600 m²/an). L'accélération de l'érosion est liée aux travaux de destruction d'une digue construite à l'extrémité de la flèche duniaire 20 ans plus tôt pour permettre l'assèchement d'une quarantaine d'hectares de terres. L'érosion s'est poursuivie à un rythme encore rapide jusqu'en 1990 (- 4 600 m²/an), mais a été compensée en partie par la naissance de nouvelles dunes dans la zone abritée de la houle par la flèche duniaire (+ 3 900 m²/an).

Parfois, une érosion importante sur un secteur de flèche seulement est masquée dans le bilan global par une progradation plus importante qui se manifeste à une autre partie de l'édifice. Ainsi, à Penn ar C'hleuz (fig. 4b, F), la période d'érosion la plus marquée apparaissant sur les missions aériennes correspond aux années 1980-1982 (le bilan annuel se chiffrait à près de - 10 000 m²). L'érosion était importante dans la partie proximale de la flèche dès le début de la période considérée. On y enregistrerait un recul de 2 m/an entre 1952 et 1978, puis de 4 m/an jusqu'en 1981 (Géolitt, 1987). Mais, dans le même temps, l'allongement de la pointe permettait presque toujours de compenser la perte sédimentaire subie par la partie proximale (+ 3 000 m²/an entre 1952 et 1966, + 3 500 m²/an entre 1966 et 1971, + 5 600 m²/an entre 1971 et 1978,

+ 4400 m²/an entre 1978 et 1980). Depuis 1981, la partie proximale s'est à nouveau engraisée, à la suite de la construction d'épis bloquant en partie la dérive littorale. Dans le même temps, le fulcrum s'est déplacé vers l'ouest, la partie distale de la flèche a cessé de prograder et a subi une vive érosion (- 24,20 m entre 1989 et 1995 pour son extrémité nord et - 13,40 m pour son extrémité sud). Le déplacement du fulcrum ainsi que l'arrêt de la progradation de l'extrémité s'expliquent en partie par le blocage d'une grande partie des sédiments en transit par les épis. Une autre cause à ces phénomènes tient aux extractions de sédiments pratiquées trop près de la pointe. Enfin, les divagations du chenal de la rivière situé à l'extrémité de la flèche empêchent une trop forte accumulation des sédiments au nord de la pointe.

Dans la majorité des cas, le recul du trait de côte s'accompagne de la chute d'un volume important de sédiments sur le haut estran. Au cours des fortes tempêtes, une partie du sable est probablement emportée vers le large, mais aucune mesure ne permet de dire dans quelles proportions. Le reste est repris par la dérive littorale et les courants de marée et peut ainsi contribuer à former de nouvelles accumulations. Lorsque la déflation éolienne s'exerce sur les fronts dunaires taillés en falaises, on observe couramment des phénomènes de saupoudrage de l'arrière-dune qui s'élève ainsi progressivement (Kernic, Penn ar C'hleuz, Pouldu). Les phénomènes de wash-over demeurent rares dans les systèmes étudiés depuis 1950. Quelques cas ont pu être observés au début des années 1980 à Penn ar C'hleuz, après la destruction complète du bourrelet dunaire à la racine de la flèche.

Hormis les quelques explications déjà avancées pour quelques uns des sites étudiés, on doit insister sur certains phénomènes ayant aggravé le recul de la plupart des flèches étudiées. Ainsi, dans les années 1960-70, le développement du tourisme de masse s'est traduit par une augmentation anarchique du camping non contrôlé et de la circulation automobile sur les dunes. Cette surfréquentation a abouti à la destruction de la végétation sur les fronts dunaires et dans les zones de stationnement des véhicules ou des tentes et caravanes. On a alors constaté, en de nombreux endroits, une remobilisation accélérée du sable qui a favorisé le recul de la ligne de rivage et la création ou l'élargissement de brèches et de caoudeyres. A partir du début des années 1980, on a commencé à gérer la fréquentation par la création de terrains de camping, d'aires de stationnement, et en interdisant la libre circulation des engins à moteurs et des chevaux sur de nombreux sites (Pemp Hent, Kernic, Penn ar C'hleuz, Aber, Mousterlin ouest, puis plus récemment Le Pouldu, Pen er Lé, Sables-d'Or-les-Pins). Cela a permis la cicatrisation de nombreuses pistes, et parfois le rebouchage naturel de certaines brèches d'accès à l'estran, en quelques années. Ce fut le cas le long de la flèche de Kernic où, entre 1989 et aujourd'hui, la végétation a presque entièrement recouvert les zones de sable autrefois à nu, si ce n'est sur le front dunaire. A l'Aber, le piétinement fréquent sur les sentiers situés au sommet d'anciennes crêtes dunaires provoque un surcreusement de ceux-ci et empêche la végétation de s'y réinstaller. Le phénomène est encore accéléré pendant les périodes de vent, celui-ci y prélevant du sable pour saupoudrer l'arrière-dune.

Ces dernières années, le recul de la ligne de rivage a pu être freiné grâce à la mise en place de systèmes de protection sur certains sites. Ainsi, la pose d'enrochements dans la partie proximale des flèches de Pemp Hent, Penn ar C'hleuz et Mousterlin a permis d'enrayer l'érosion dans les parties protégées par ces dispositifs. Malheureusement,

l'érosion s'est déplacée vers l'aval dans le sens de la dérive littorale, ce qui est classique lorsque l'on emploie ce type de techniques. Sur le site de Pemp Hent, l'Office National des Forêts a procédé avec succès au reprofilage du front dunaire par mise en place de brise-vent de type ganivelles et plantations d'oyats. Les premiers travaux ont été effectués en 1984. Régulièrement remplacées, les ganivelles favorisent la reconstitution de réserves de sédiments au cours de la belle saison. L'attaque de ces réserves au cours des tempêtes hivernales permet de limiter au maximum le recul du trait de côte. Au Pouldu, une technique similaire a été mise en place par le Conseil Général au début de l'année 1995. Il est encore trop tôt pour préjuger des résultats à long terme. Dans la partie proximale de la flèche de Penn ar Chleuz, l'emploi simultané de ganivelles et de filets, et des plantations d'oyats dans la zone protégée par des épis, ont permis la reconstitution d'un bourrelet dunaire de 2 m de haut sur 10 m de large à un endroit où la mer s'engouffrait régulièrement au début des années 1980.

Sites en progradation

Les flèches de l'Ile Blanche (fig. 4a, E), Pemp Hent (fig. 4a, D) et Pen er Lé présentent un bilan érosion/progradation positif sur l'ensemble de la période. En réalité, les phénomènes de progradation observés n'ont pas été continus. Pour l'Ile Blanche, ils se situent entre 1952 et 1961 (bilan de + 1 540 m²/an), entre 1966 et 1971 (bilan de + 280 m²/an) et entre 1971 et 1978 (bilan de + 1 980 m²/an). A Pemp Hent, l'accumulation l'a emporté sur l'érosion entre 1952 et 1961 (bilan de + 1 400 m²/an), entre 1961 et 1966 (bilan de + 700 m²/an), de 1978 à 1982 (bilan de + 220 m²/an) et de 1982 à 1987 (bilan de + 316 m²/an). A Pen er Lé, une phase de progradation importante s'est produite entre 1952 et 1981 (jusqu'à + 10 200 m² de bilan annuel), suivie par une deuxième phase entre 1984 et 1989 (bilan de + 11 600 m²/an).

Cependant, les flèches n'ont pas été épargnées par quelques crises érosives coïncidant avec des périodes de tempêtes. Les deux sites nord-finistériens ont connu deux périodes de recul principales. A l'Ile Blanche, l'érosion a été importante surtout entre 1961 et 1966 (bilan de - 2 300 m²/an), ainsi que depuis 1978. A Pemp Hent, une érosion importante s'est produite entre 1966 et 1971 (bilan de - 1 300 m²/an) puis entre 1971 et 1978 (bilan de - 680 m²/an). A Pen er Lé, l'érosion s'est montrée dominante entre 1981 et 1984 (bilan de - 11 200 m²/an), puis entre 1989 et 1991 (bilan de - 3 600 m²/an).

Formation des crêtes dans les systèmes de type Tréfle

La vitesse d'édification des crêtes dunifiées semble s'être considérablement ralentie depuis quelques années. A Penn ar C'hleuz, dans la décennie 70, B. Hallégouët (1981) notait la formation d'une crête bien individualisée, en moyenne tous les trois à cinq ans, dans la partie distale de l'accumulation. Aujourd'hui, les processus à l'origine de la constitution des crêtes perdurent, mais le déplacement du fulcrum en direction de l'extrémité nuit à leur multiplication. A l'Aber, une seule crête s'est constituée entre 1982 et 1994, dans la partie distale de la flèche. A Sables-d'Or-les-Pins, l'érosion dominante empêche désormais la formation de nouvelles crêtes.

A Penn ar C'hleuz, des observations récentes complétées par des levés topographiques montrent aussi que les crêtes qui se sont construites depuis quelques années auront bien du mal à atteindre la hauteur de leurs voisines plus anciennes (fig. 6). Alors

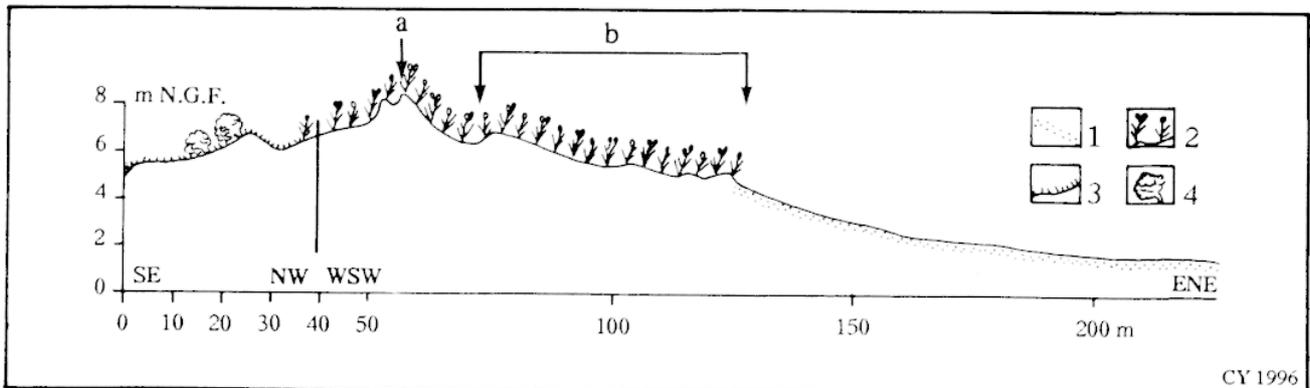


Fig. 6 – Profil-type de la racine de la flèche de Penn ar C'hleuz (25/04/1994). 1 : estran meuble; 2 : *Ammophila arenaria*; 3 : pelouse; 4 : *Ligustrum vulgare*.

Fig. 6 – Typical profile of the updrift part of Penn ar C'hleuz spit (04/25/1994). 1 : running strand; 2 : *Ammophila arenaria*; 3 : grass; 4 : *Ligustrum vulgare*.

que certaines crêtes érigées au début du siècle ou même encore dans les années 60 s'élevaient de 4 à 5 m au-dessus des dépressions les séparant les unes des autres, les crêtes les plus récentes ne dépassent pas 2 m de haut.

Enfin, on doit noter que les crêtes construites au cours de la dernière décennie restent parfois assez peu de temps nettement individualisées. Ainsi, la crête formée dans la partie distale de l'Aber s'est peu à peu transformée en « plateau » faiblement ondulé, les dépressions la séparant des autres étant peu à peu comblées par des apports sableux. A Penn ar C'hleuz la même chose se produit actuellement dans la partie proximale, dans la zone protégée par des épis (fig. 6). Ce phénomène, remarqué par Hallégouët et Hénaff (1995) dans l'anse de Dinan (partie occidentale de la presqu'île de Crozon) est dû à des vents abordant perpendiculairement le trait de côte. Pour expliquer l'évolution constatée sur ces deux sites, il serait sans doute intéressant d'étudier précisément les vents sur le littoral breton, afin de voir si on peut enregistrer, depuis quelques années, un changement de leur résultante.

Accumulation massive de sable dans certaines anses

Sur certains sites, qu'ils soient en érosion ou en progradation, on a pu remarquer depuis quelques temps une nette tendance à l'ensablement des anses situées à l'abri des flèches. Ce phénomène est particulièrement net à l'île Blanche, au Kernic, à l'Aber et au Cosquer. Des études de Bonnot-Courtois *et al.* (1989) ont montré que 20 000 à 25 000 m³ de sédiments rentrent chaque année dans l'anse du Kernic. Les arrivées massives de sable que l'on peut enregistrer sont comparables, en volume, à certains apports de crues des grands fleuves, à la différence que les sédiments dont il est question ici proviennent du milieu marin. Dans l'état actuel de nos connaissances, il paraît difficile de définir avec précision les circuits sédimentaires, et de prévoir le déclenchement des « crues » et la durée du phénomène. L'hypothèse d'apports continentaux liés à certaines pratiques agricoles paraît totalement à exclure. En effet, les accumulations récentes de ces matériaux sont marquées par une abondance de débris coquilliers (devant l'île Blanche, notamment) et l'absence de particules fines. En outre, l'examen

de certaines missions aériennes montre nettement des figures sédimentaires importantes indiquant un transport par les courants de flot vers l'intérieur des baies (baie de Goulven où sont situées les flèches de Penn ar C'hleuz et de Kernic en particulier). L'explication la plus probable (donnée par Pinot en 1995 à propos du site de l'Île Blanche) est celle d'un balayage de l'estran et de l'avant-côte par les houles au cours des tempêtes, balayage qui permet une remise en suspension de sables non atteints par celles-ci en temps normal. Une partie des apports sédimentaires peut également être issue de l'érosion de zones faisant partie de la même province sédimentaire que les flèches étudiées. Il peut s'agir alors du produit de l'érosion des accumulations littorales voisines, déposé vers le haut de la zone infratidale lors des tempêtes, et repris par les houles courtes lors des périodes de calme. De tels mouvements ont déjà été décrits ailleurs, notamment par Niedoroda *et al.* (1984), à Tiana Beach, près de Long Island, sur la côte est des U.S.A. Le caractère récent de ce phénomène ne doit pas faire exclure l'hypothèse d'autres épisodes de ce type à des époques plus anciennes.

Recherche des facteurs pouvant aboutir à des bilans contradictoires

A priori, on peut se poser la question de savoir pourquoi certaines flèches reculent, tandis que les autres sont en progradation. La réponse n'est pas facile à donner. Dans le cas des sites qui tantôt progradent, tantôt reculent, on est tenté de voir dans ces changements une alternance de périodes de tempêtes et de période de calme. Si l'on considère la période 1950-1996 et que l'on essaie d'expliquer les différences dans les bilans finaux entre les flèches, cette explication n'est plus valable. On est alors obligé de prendre en compte le contexte plus général de chaque site.

Ainsi, on peut remarquer que les trois sites en progradation sont localisés dans des zones relativement bien abritées des houles dominantes. Le site de l'Île Blanche, situé au fond d'une baie étroite où l'estran découvre sur 1,50 km, reçoit des houles très réfractées, peu susceptibles d'agir directement sur le pied de la dune. A Pemp Hent, la plus grande partie de la flèche, à l'exception de la partie centrale, est protégée des houles dominantes d'ouest. A Pen er Lé, les fortes houles de sud-ouest sont freinées après avoir contourné la presqu'île de Quiberon. A l'inverse, la partie proximale de la flèche du Pouldu est atteinte directement par les fortes houles de sud-ouest, ce qui accélère le départ naturel des sédiments en direction de la pointe (fig. 4a, B).

L'orientation des flèches par rapport aux vents dominants joue ordinairement un rôle non négligeable, mais qui est relativement difficile à démontrer dans le cas des flèches à pointe libre, notamment en ce qui concerne la partie distale qui est généralement exposée à tous les vents, sauf cas particuliers. En Bretagne, la plus grande partie des vents viennent du secteur WNW à SW. La plupart des sites étudiés peuvent donc subir un engraissement lorsque le vent s'exerce sur l'estran à marée basse. Le site de Pen er Lé fait exception, puisqu'il est tourné vers l'est.

La largeur des estrans et la disponibilité en matériaux sableux expliquent aussi une partie du problème. Les estrans situés devant les flèches de L'Île Blanche, de Pemp Hent et de Pen er Lé découvrent sur plus de 1 km, ce qui permet à la déflation éolienne de s'exercer pendant une longue période en morte-eau. Lorsque l'action du vent s'exerce de l'estran vers la dune, celle-ci peut prograder. Au contraire, les flèches du Cosquer et de Moustierlin sont bordées par de petites plages découvrant sur une centaine de mètres en moyenne.

Si l'homme n'intervenait pas en tant qu'agent dynamique, on devrait observer des phénomènes d'accumulation plus importants, et peut-être un bilan positif à long terme, pour les sites de Sables-d'Or-les-Pins, Kernic, Penn ar C'hleuz et l'Aber. En effet, deux conditions sont favorables à leur progradation : ils bénéficient d'une situation relativement abritée par rapport aux houles dominantes et sont bordés par un large estran sableux. On peut penser que les déficits calculés dans le bilan érosion/accumulation proviennent essentiellement des prélèvements de sédiments opérés sur les trois premiers sites, tandis que le déséquilibre constaté à l'Aber est dû essentiellement aux opérations de construction puis de destruction d'une digue à l'extrémité de la flèche.

CONCLUSION

Dans la majorité des cas, les flèches dunaires à pointe libre de Bretagne ont subi une succession de périodes d'érosion puis d'accumulation dominante, depuis le début des années 1950. La plupart d'entre elles présentent un bilan érosion/progradation négatif sur l'ensemble de la période. Les sites de Sables-d'Or-les-Pins et de Kernic sont dans une situation particulièrement préoccupante, tous les bilans pluriannuels réalisés étant négatifs depuis 1952. En l'absence de toute intervention anthropique, il est probable qu'une rupture s'y produira tôt ou tard. A Kernic, la situation est comparable à celle de la flèche de Sarodrano (côte sud-ouest de Madagascar), décrite par Battistini en 1995. L'ouverture d'une brèche lors d'une tempête (Forbes *et al.*, 1995) aboutirait à la transformation du corps de la flèche en une île, comme dans le cas de la presqu'île des Tigres en Angola (Guilcher *et al.*, 1974). Si les processus actuels de l'évolution de celle-ci (agents dynamiques, budget sédimentaire) restent semblables dans les années qui viennent, on peut penser qu'une rupture causera sa disparition, comme ce fut le cas pour la flèche de Péleuz, en baie de Goulven, au début du siècle.

Trois des flèches étudiées présentent en revanche un bilan positif sur le long terme, mais il devra sans doute être revu dans quelques années, car les dernières missions aériennes laissent entrevoir une inversion de tendance.

Ces résultats ne font que confirmer la tendance générale du recul des côtes meubles à l'échelle planétaire. Les raisons en sont connues : épuisement des ressources sédimentaires utilisées dans la formation des cordons pendant la transgression flandrienne, augmentation du nombre et de la force des tempêtes (Audran, 1993 et 1995), et interventions anthropiques modifiant la dynamique littorale ou les stades sédimentaires.

Remerciements

L'auteur tient à remercier Bernard Hallégouët qui a accepté de relire le manuscrit, ainsi que les membres des comités de lecture et de rédaction de *Géomorphologie* pour leurs critiques constructives.

Références

- Anthony E.J. (1991)** – Beach-ridge plain development : Sherbro Island, Sierra Leone. Proceedings of the Second International Conference on Geomorphology : Geomorphology and Geoecology, Frankfurt/Main, 1989. *Zeitschrift für Geomorphologie*, suppl.-Bd 81, 85-98.
- Audran E. (1993)** – *Tempêtes sur la pointe de Penmarc'h*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, inédit, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 180 p.
- Audran E. (1995)** – *Introduction à la dynamique littorale des tempêtes : secteur de Penmarc'h*. Mémoire de D.E.A. de Géomorphologie et Aménagement des Littoraux, inédit, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 101 p.

- Battistini R. (1995)** – La flèche de Sarodrano (côte sud-ouest de Madagascar). *Norois*, 42, 165, 63-71.
- Bodéré J.-C., Hallégouët B. et Yoni C. (1993)** – Erosion et protection des côtes entre Penmarc'h et l'Odet. Actes du Colloque « Le Pays Bigouden à la croisée des chemins », Pont-L'Abbé, 19-20-21 novembre 1992. Association de Promotion du Pays Bigouden Cap Sizun, Université de Bretagne Occidentale. *Cap Caval*, supplément spécial au n° 17, 296-306.
- Bonnot-Courtois C., Guenegou M.C., Lafond L.R. et Levasseur J.E. (1989)** – Dynamique sédimentaire et colonisation végétale dans l'anse du Kernic (Finistère-Nord). *Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Etudes*, n° 42. Laboratoire de Géomorphologie, Dinard, 122 p.
- Carter R.W.G. and Wilson P. (1990)** – The geomorphological, ecological and pedological development of coastal foredunes at Magilligan Point, northern Ireland. In Nordstrom K., Psuty N. and Carter B. (1990) – *Coastal dunes, form and process*, John Wiley and sons, Chichester, 129-157.
- Davies J.-L. (1959)** – Wave refraction and the evolution of shoreline curves. *Geographical Studies*, 5, 2, 1-14.
- Diaw A.T., Diop N., Thiam M.D. and Thomas Y.F. (1991)** – Remote sensing of spit development : a case study of Sangomar spit, Senegal. Proceedings of the Second International Conference on Geomorphology : Geomorphology and Geoecology, Frankfurt/Main, 1989. *Zeitschrift für Geomorphologie*, suppl.-Bd 81, 115-124.
- Forbes D.L., Orford J.-D., Carter R.W.G., Shaw J. and Jennings S.C. (1995)** – Morphodynamic evolution, self-organisation, and instability of coarse-clastic barriers on paraglacial coasts. *Marine Geology*, 126, 1/4, 63-85.
- Fox W.T., Haney R.L. and Allen Curran H. (1995)** – Penouille spit, Evolution of a complex spit, Gaspé, Québec, Canada. *Journal of Coastal Research*, 11, 2, 478-493.
- Géolitt (1987)** – *Suivi de sites. L'Aber – Crozon, Les Blancs Sablons – Le Conquet, Sainte-Marguerite – Landéda, Keremma – Tréfléz et Plounevez-Lochrist. Examen de l'action du Conservatoire du Littoral sur quatre sites dunaires finistériens*, Tome 5 : *Keremma – Tréfléz et Plounevez-Lochrist*. Rapport, Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres, Géolitt, Brest, 60 p.
- Guilcher A. (1978)** – Les crêtes littorales successives dunifiées de type Darss de la Baie de Goulven, Bretagne, comparées à celles de l'île de Wolin, Pologne. *Wiss. Zeit. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald*, 27, 33-36.
- Guilcher A. (1984)** – Le développement du Darss au cours de l'Holocène. 31^{ème} Chronique Océanographique. *Norois*, 31, 121, 191-192.
- Guilcher A., Medeiros C.A., De Matos J.E. et De Oliveira J.T. (1974)** – Les restingas (flèches littorales) d'Angola, spécialement celles du sud et du centre. *Finisterra*, 9, 18, 171-211.
- Hallégouët B. (1981)** – Les crêtes littorales dunifiées du Massif Armoricaire, France : formation et évolution. *Géographie Physique et Quaternaire*, 35, 2, 205-218.
- Hallégouët B. et Hénaff A. (1995)** – L'engraissement des plages de l'anse de Dinan, à l'ouest de la presqu'île de Crozon, en Bretagne Occidentale. *Norois*, 42, 165, 131-152.
- Hallégouët B. et Moign A. (1976)** – Historique d'une évolution de littoral dunaire : la baie de Goulven (Finistère). Interactions entre forces naturelles et interventions humaines. *Penn ar Bed*, 10, 84, 263-276.
- Hallégouët B. et Moign A. (1979)** – Progradation et érosion d'un secteur littoral sableux en Bretagne nord : mesures et bilan. Actes du Colloque « *Les côtes atlantiques de l'Europe, évolution, aménagement, protection* », Brest, 15-16 mai, 1979. Publications du Centre National pour l'Exploitation des Océans, Actes de Colloques n° 9, 45-54.
- Kolp O. (1982)** – Entwicklung und Chronologie des Vor- und Neudarsses. *Petersmans Mitt.*, 126, 85-94.
- Laboratoire Central d'Hydraulique de France (1982)** – *Plage de Sables-d'Or-les-Pins, Recherche des causes des érosions, Rapport général*. L.C.H.F., commune de Fréhel, Maisons-Alfort, 30 p. + annexes.
- La Cock G.D., Lubke R.A. and Wilken M. (1992)** – Dune movement in the Kwaihoek region of the Eastern Cape, South Africa, and its bearing on future developments of the region. *Journal of Coastal Research*, 8, 1, 210-217.
- Leclerc J.-P., Bellessort B. et Migniot C., 1976** – *Action de la houle sur les sédiments*, Département de Sédimentologie du Laboratoire Central d'Hydraulique de France. Publications du Centre National pour l'Exploitation des Océans, 191 p.

- Lemasson L. (1994)** – *Evolution trentenaire des vents littoraux. Cartographie de l'incidence de ces changements sur l'évolution des côtes.* Mémoire de D.E.A. de Géographie, option Télédétection, inédit. Université de Rennes II, 71 p.
- Maiti D. et Thomas Y.F., 1975** – Interaction des plantes et du vent dans les dunes littorales. *Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Etudes*, n° 28, Laboratoire de Géomorphologie, Dinard, 59 p.
- Morton R.A., Gibeaut J.-C. and Paine J.-G. (1995)** – Meso-scale transfer of sand during and after storms : implications for prediction of shoreline movement. *Marine Geology*, 126, 1/4, 161-179.
- Niedoroda A.W., Swift D.J.P., Hopkins T.S. and Ma C.M. (1984)** – Shoreface morphodynamics on wave-dominated coasts. *Marine Geology*, 60, 1/4, 331-354.
- Orford J.-D., Carter R.W.G., McKenna J. and Jennings S.C. (1995)** – The relationship between the rate of mesoscale sea-level rise and the rate of retreat of swash-aligned gravel-dominated barriers. *Marine Geology*, 124, 1/4, 177-186.
- Otto T. (1913)** – Der Darss und Zingst. *Jahresb. Geog. Ges. Greifswald*, 13, 235-485.
- Pinot J.-P. (1995)** – Quelques plages en voie d'engraissement dans la région de Lannion. *Norvès*, 42, 165, 99-117.
- Psuty N.P. (1992)** – Spatial variation in coastal foredune development. In Carter R.W.G., Curtis T.G.F. and Sheehy-Skeffington M.J. – *Coastal dunes, Geomorphology, ecology and management for conservation.* Proceedings of the Third European Dune Congress, Galway, Ireland, 17-21 June 1992, Balkema, Rotterdam, 3-13.
- Sherman J.-S. and Bauer B.O. (1993)** – Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*, 17, 4, 413-447.
- Taylor M. and Stone G.W. (1996)** – Beach-ridges : a review. *Journal of Coastal Research*, 12, 3, 612-621.
- Thomas Y.F. (1975)** – Actions éoliennes en milieu littoral : la pointe de la Coubre. *Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Etudes*, n° 29, Laboratoire de Géomorphologie, Dinard, 202 p + 1 carte h.t.
- Yoni C. (1995)** – *Dynamique des flèches dunaires à pointe libre de Bretagne.* Thèse de Doctorat NR, Géographie, inédite, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 2 volumes, 348 p.

Manuscrit reçu le 20 mars 1996, accepté le 2 octobre 1996