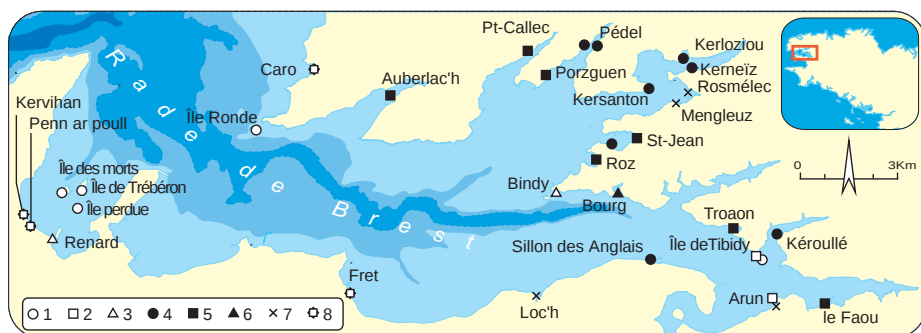




Mobilité des flèches de galets en rade de Brest

Pierre STÉPHAN

Par leur nombre et leur diversité, les flèches de galets de la rade de Brest constituent un remarquable patrimoine géomorphologique dont nous dressons l'état de santé, en retraçant l'évolution morphosédimentaire au cours des cinquante dernières années.

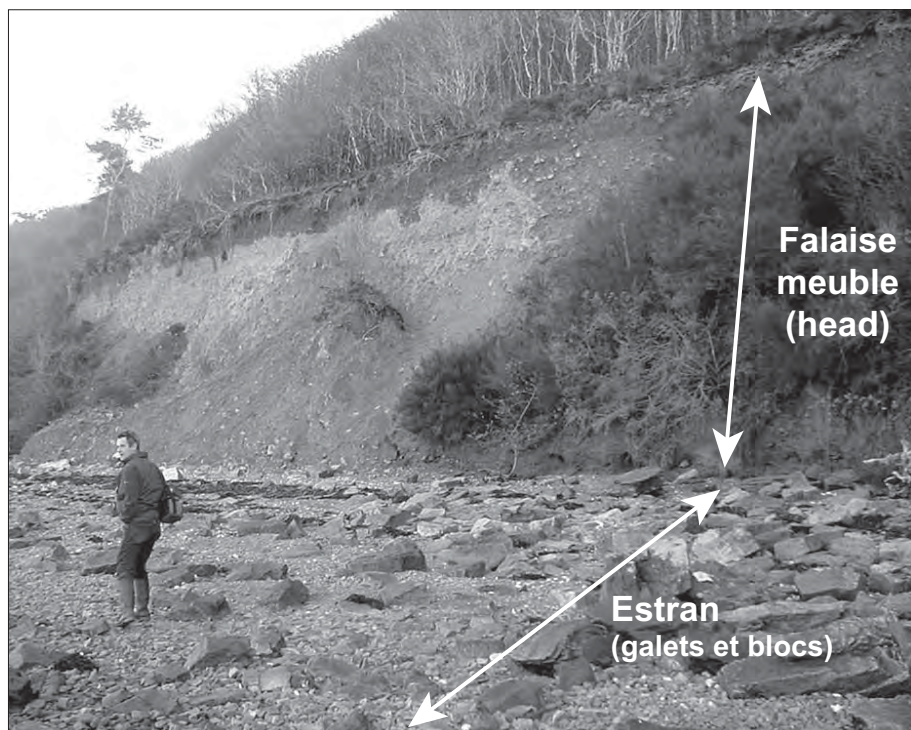


[1] Localisation des principaux cordons littoraux de la rade de Brest. 1 : queues de comète, 2 : Tombolo simple, 3 : Tombolo double, 4 : flèche sub-parallèles à la côte, 5 : Flèche barrant un estuaire, 6 : Flèche en vis-à-vis, 7 : Flèche en chicane, 8 : cordon littoral artificialisé ou détruit.

La rade de Brest compte aujourd'hui 37 cordons littoraux (Stéphan, 2004), formes d'accumulation sédimentaires qui ont la particularité de ne pas être adossées à la côte. Comme l'a fait remarquer Guilcher *et al.* (1957), cet ensemble peut être considéré comme « ...le plus intéressant de toute la côte française de la Manche et de l'Atlantique, après celui de la côte picarde... » en raison du nombre et de l'étonnante diversité de ces édifices dans une petite mer intérieure. Parmi ces cordons que nous présenterons dans toute leur variété, on dénombre une vingtaine de flèches littorales auxquelles nous porterons une attention particulière en retraçant leur évolution au cours du dernier demi-siècle [1].

Des flèches de galets en rade de Brest : une originalité

Les flèches littorales de la rade de Brest sont toutes constituées de sédiments grossiers : galets, graviers et sables grossiers, en proportion variable selon les endroits. Généralement, ce type d'accumulation sédimentaire s'observe sur des littoraux très exposés aux grandes houles du large, où l'énergie des vagues permet le transport et l'organisation des sédiments de grande taille en cordons. En rade, la hauteur des vagues ne dépasse jamais le



S. Suanez

[2] Une grève de galets jonchée de blocs de taille décimétrique et alimentée en sédiments par une falaise de head, partie sud de la rade de Brest, commune de Landévennec.

mètre. Aussi, la présence de flèches de galets dans un environnement aussi peu énergétique constitue une originalité qui s'explique en grande partie par la nature des sédiments livrés par les falaises. Ces dernières sont les seules pourvoyeuses en matériel sédimentaire sur le littoral de la rade. Elles sont tantôt taillées dans des affleurements de roches très tendres, tels que les schistes de Porzgwen qui se délitent en lamelles de taille centimétriques, tantôt dans du head périglaciaire, accumulé à la base des versants lors de la dernière glaciation. Cette formation meuble, extrêmement hétérométrique est constituée d'une matrice argileuse emballant en proportions variables des graviers, cailloux et blocs. Lavés et triés par les vagues, ces sédiments grossiers alimentent les estrans où ils sont mis en mouvement, sous l'action des courants de dérive et déposés en masse dans un secteur abrité. L'extrême découpage du trait de côte en rade offre ainsi une multitude de sites d'abri où peut s'effectuer le dépôt de ce matériel et le développement d'un cordon littoral. Un léger rentrant dans le tracé du rivage est alors suffisant pour permettre au cordon de s'en détacher et former une flèche littorale [2].

Typologie des flèches et autres cordons littoraux

Il est possible de distinguer cinq grandes catégories de cordon littoral en rade de Brest. Les queues de comète, tout d'abord, sont des accumulations qui se mettent en place à l'abri d'une île ou d'un îlot rocheux. Il en existe 6 en Rade, réparties entre les îles de Trébéron, île des Morts et île Perdue au large de Roscanvel, de l'île Ronde proche de la Pointe de l'Armorique à Plougastel-Daoulas, et de l'île de Tibidy à l'Hopital-Camfrout. Les tombolos, accumulations littorales reliant une île à la terre ferme, constituent un second type de cordons littoraux. Ces cordons relient ainsi les îles de Tibidy, Arun, Renard et Bindy au continent voisin. Les deux dernières de ces îles étant suffisamment larges, elles ont permis la formation de deux tombolos distincts, enfermant une zone basse et humide. Ce type de configuration est appelé un tombolo double. Les flèches sub-parallèles à la côte forment une autre catégorie de cordons qui s'allongent dans le sens du rivage mais s'en détachent légèrement

dès lors qu'un rentrant marque localement le tracé de la côte. Elles sont nombreuses en Rade où l'on en compte jusqu'à 13. La plus remarquable d'entre elles est sans aucun doute le Sillon des Anglais, à Landévennec. Un quatrième type de cordon est représenté par les flèches barrant un estuaire. Au nombre de 9, ces cordons protègent ainsi de l'action des vagues la partie interne des estuaires et favorisent la sédimentation vaseuse et la mise en place de marais maritimes. Lorsque l'estuaire est large, comme cela est le cas pour l'anse de l'Auberlac'h, la flèche se situe à mi-distance entre l'entrée et le fond de l'estuaire. On parle alors de flèche de mi-baie [3].

Enfin, les flèches en chicane et en vis-à-vis constituent certainement le type le plus original des cordons littoraux de la Rade. Il s'agit de deux flèches, prenant racine sur chacune des rives d'une anse ou d'un estuaire et dont les pointes respectives viennent à la rencontre l'une de l'autre. Dans le cas des flèches en vis-à-vis, l'allongement n'est pas suffisant et les pointes ne se rencontrent pas. Dans le cas des flèches en chicane, l'une des pointes se développe en avant de la seconde. La genèse de ce type de cordon est complexe, elle suppose l'intervention de deux

courants de dérive littorale convergents. Le plus bel exemple de flèches en chicane se trouve dans l'anse du Moulin du Pont, en presqu'île de Logonna-Daoulas [4].

La mobilité des flèches de galets

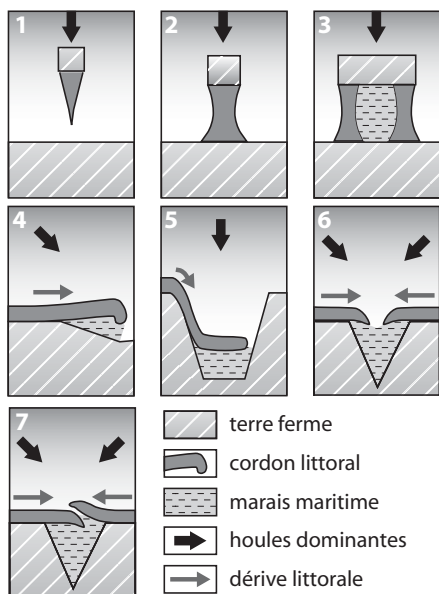
L'évolution des flèches de galets durant les cinquante dernières années a été retracée avec pour objectif de réactualiser les travaux menés dans les années 1950 par A. Guilcher. Le but de cette étude est principalement de mieux comprendre leur mise en place et leur fonctionnement morphosédimentaire, et d'apporter par ailleurs des connaissances nouvelles sur le milieu littoral de la rade de Brest, dans le cadre d'une politique de mise en valeur du patrimoine naturel menée par les collectivités territoriales et notamment par Brest Métropole Océane (BMO).

Méthodologie

La mobilité des cordons littoraux a été retracée en utilisant à la fois des photographies aériennes prises par l'IGN entre 1952 et 2000, et des levés de terrain effectués à l'aide d'un DGPS (GPS différentiel de grande précision) en 2004, 2005 et 2006. Les clichés aériens ont été scannés avec une haute résolution et les déformations éventuelles des images, liées à la prise de vue aérienne, ont été corrigées. Toutes ces données ont ensuite été intégrées dans une base SIG (Système d'Information Géographique) et la position du trait de côte a été dessinée numériquement sur nos images. La limite de référence qui a été retenue comme trait de côte correspond à la végétation supra littorale située au sommet des cordons. À partir de ce travail, deux types d'information ont été calculés ; d'une part, les surfaces perdues ou gagnées; d'autre part, le recul ou l'avancée des flèches le long de profils disposés perpendiculairement au rivage. Au total, 22 des 37 cordons littoraux que compte la Rade ont été étudiés de cette manière car nous n'avons retenu que les flèches de galets d'une longueur supérieure à 100 m, susceptibles de connaître des changements morphologiques significatifs.

Une tendance globale à l'érosion

Au terme de 50 années d'évolution littorale, on constate que les 3/4 des flèches de la rade de Brest sont en érosion. Ce phénomène présente un aspect particulièrement inquiétant sur les flèches du Faou et de Mengleuz. Un seul cordon



[3] Typologie des cordons littoraux de la rade de Brest. 1 : queue de comète. 2 : tombolo simple. 3 : tombolo double. 4 : flèche sub-parallèle à la côte. 5 : flèche barrant un estuaire. 6 : flèches en vis-à-vis. 7 : flèches en chicane.

S. Le Berre



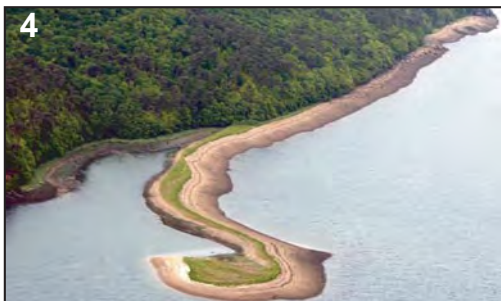
S. Le Berre



S. Le Berre



S. Le Berre



S. Le Berre



S. Le Berre



P. Séphan



[4] Exemples de cordons littoraux.

1: Queue de comète de l'île Perdue.

2 : Tombolo simple de l'île d'Arun.

3 : Tombolo double de l'île du Bindy.

4 : Sillon des Anglais. **5 :** La flèche de l'Anberlac'h.

6 : Les flèches en vis-à-vis de l'anse du Bourg.

7 : Dans l'anse du Moulin du Pont, les flèches en chicane de Rosmelec (premier plan) et de Mengleuz (second plan)

montre un bilan stable et 4 autres enregistrent une légère avancée. Il convient d'être prudent quant à l'explication de cette tendance générale à l'érosion à l'échelle de la Rade car les causes peuvent être nombreuses et difficiles à déterminer. Une étude récente (Wöppelmann *et al.*, 2006), effectuée à partir des données recueillies par le marégraphe de Brest depuis 1860, a montré que l'élévation du niveau marin en Rade a connu une forte accélération à partir de 1980 (+1,3 mm/an entre 1860 et

1980 ; +3 mm/an entre 1980 et 2004). Sur les cordons de galets, la montée du niveau de la mer se solde généralement par un recul des accumulations littorales, si ce phénomène n'est pas compensé par des apports massifs de sédiments à la côte (Forbes *et al.*, 1995). Or l'alimentation sédimentaire des flèches de la Rade est actuellement très faible. Les sédiments aujourd'hui disponibles sur le littoral semblent en quantité insuffisante et les falaises ne paraissent pas en mesure d'en délivrer

d'avantage. Ainsi, comme la majorité des littoraux à travers le monde, la rade de Brest pourrait bien montrer les premiers signes d'une situation de pénurie sédimentaire, aggravant les effets érosifs d'une élévation du niveau marin [5].

Brusques épisodes érosifs et longues phases de régénération

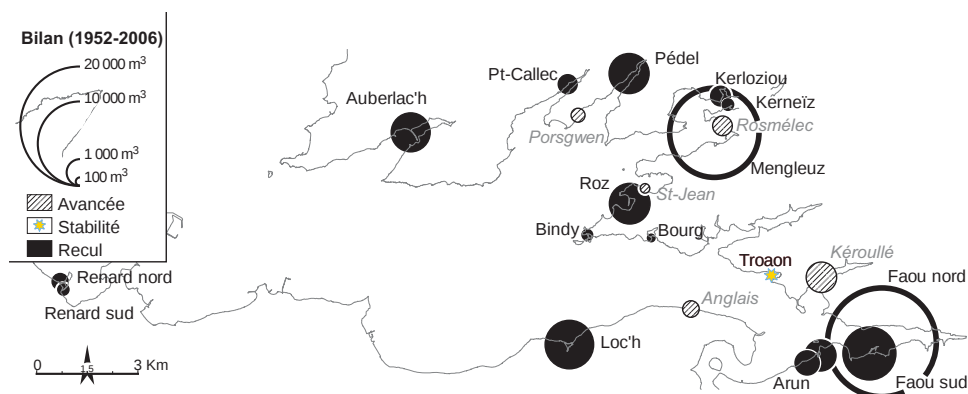
Dans le détail, on constate tout de même qu'entre 1952 et 2006, la plupart des flèches de la Rade ont connu tour à tour des phases d'avancée et de recul. Sur la flèche du Bourg, par exemple, trois phases d'érosion entrecoupées de périodes d'avancée se sont ainsi succédées depuis 1952. Le recul s'effectue de manière très épisodique, lorsque coïncide une pleine mer de vive-eau et une forte agitation de la mer. Les flèches subissent alors de plein fouet l'action érosive des vagues de tempête qui, déferlant au sommet des accumulations, peuvent faire reculer le front de végétation sommitale de plusieurs mètres, en quelques heures seulement, et tailler la crête du cordon en une micro-falaise de plusieurs décimètres de hauteur. Ces épisodes de forte énergie sont également favorables au transport des galets de la racine vers la pointe de la flèche, contribuant ainsi à son allongement. Toutefois, entre deux tempêtes, de longues périodes de calme permettent au cordon de se régénérer. Les sédiments sont progressivement remontés vers le sommet de l'accumulation qui tend à retrouver sa morphologie initiale et permet une avancée du front de végétation [6].

Seules les flèches de Mengleuz, du Faou et du Loc'h montrent un recul constant, sans qu'aucune avancée ne soit enregistrée. Ces secteurs sont fréquemment

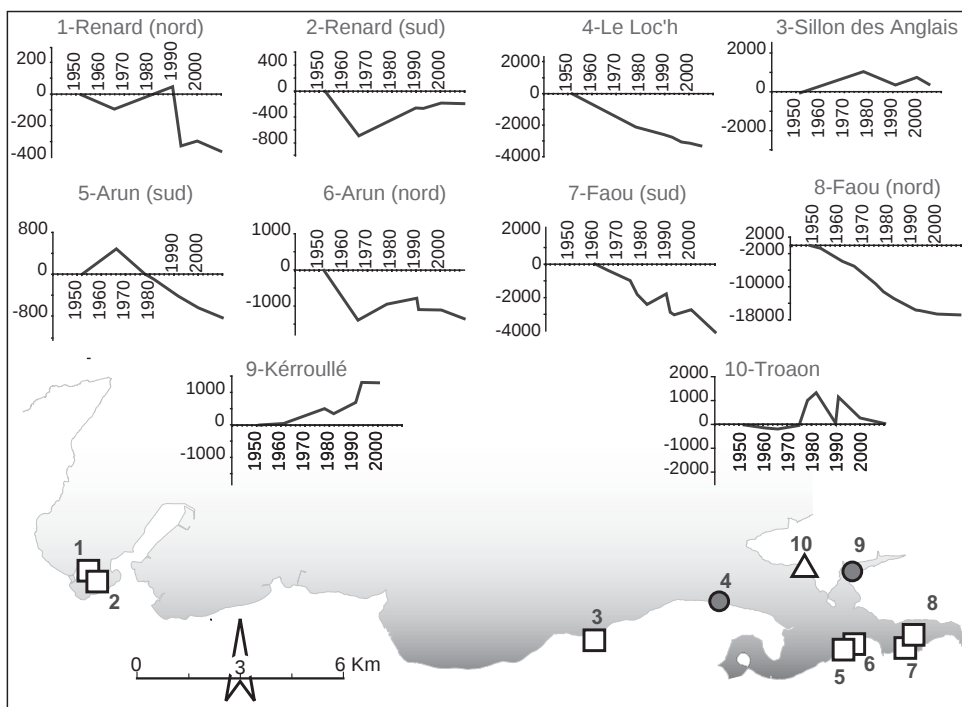
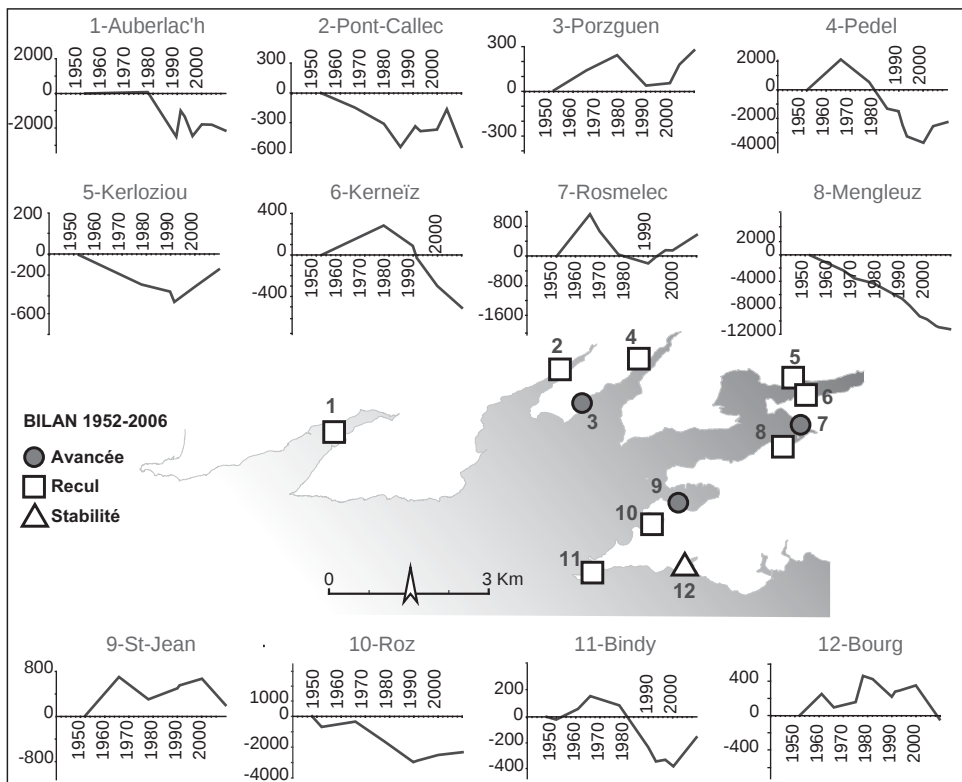
soumis au phénomène de submersion marine. Lors des pleines mers de vive-eau, les vagues passent par-dessus le cordon et les galets situés au sommet de l'accumulation sont déversés sur le revers. Il n'y a pas d'espoir de voir les sédiments revenir vers la mer : ce qui est passé de l'autre côté y reste. Le recul de ces cordons est donc inéluctable, en l'absence de tout rechargement sédimentaire artificiel.

Périodes de recul, périodes d'avancée ?

Il n'existe pas de périodes de recul ou d'avancée communes à toutes les flèches de galets. Chaque accumulation évolue à son propre rythme et connaît des phases d'évolution différentes dans le temps, en fonction de facteurs morphogéniques qui lui sont propres. Cela tient à l'extrême découpage du littoral et, de fait, aux conditions d'exposition très différentes d'un secteur à l'autre. Ainsi, un même événement tempétueux peut être extrêmement destructeur sur l'une des flèches de galets, parce qu'elle se trouve alors particulièrement exposée, et pour autant n'avoir aucun effet sur toutes les autres flèches qui en sont abritées. Tout dépend de l'orientation des vents lors de la tempête. En l'absence de houle en rade, ce sont les vents locaux qui génèrent les vagues venant battre le littoral. Plus ces vents sont forts, plus les vagues sont hautes, à condition également que ces vents bénéficient d'un fetch suffisant pour qu'ils puissent transmettre leur énergie à la mer. Outre la force du vent, c'est donc la longueur du fetch qui détermine la puissance des vagues à la côte. Chaque secteur étant exposé à des longueurs de fetch différentes en raison de son orientation particulière, un événement tempétueux génère



[5] *Bilan des superficies gagnées ou perdues lors de l'évolution des flèches de galets entre 1952 et 2006.*



[6] Evolution des superficies gagnées ou perdues lors de l'évolution des flèches de galets entre 1952 et 2006.

des vagues de hauteur variable d'un endroit à un autre de la côte, et par conséquent modifie ou pas la morphologie initiale des flèches de galets.

Les traductions morphologiques

Les flèches en recul

Au cours de leur évolution, les flèches de galets ont connu différentes modifications morphologiques traduisant des modes de fonctionnement morphosédimentaire bien spécifiques. Sur plusieurs secteurs, leur évolution depuis 50 ans s'est traduite par un simple recul du cordon sur lui-même. La forme initiale de l'accumulation ne s'est pas modifiée, elle s'est simplement déplacée vers l'intérieur des terres. Les flèches de l'Auberlac'h et du Roz, dont le recul atteint respectivement 6 m et 8 m entre 1952 et 2006, illustrent parfaitement ce type d'évolution. Ces cordons correspondent tous les deux à des flèches barant un estuaire et sont disposés de telle façon qu'ils font face aux vagues les plus puissantes. Les vagues arrivent donc de façon perpendiculaire à la côte, ce qui a pour effet de minimiser l'action des courants de dérive littorale. Au lieu d'être transportés parallèlement à la côte, de la racine vers la pointe de la flèche, les sédiments sont donc le plus souvent déplacés de façon transversale et migrent du pied du cordon à son sommet. Cela empêche tout allongement de la flèche qui ne peut connaître tout au plus que des phases de recul ou d'avancée [7].

Les flèches qui se rompent

Sur les flèches de Mengleuz et du Faou, l'évolution morphosédimentaire récente s'est traduite par la rupture des cordons. L'ouverture de plusieurs brèches au sein des accumulations a interrompu la continuité du transit sédimentaire vers la pointe et a complètement déstabilisé la forme originelle qui ne s'est jamais reconstruite à l'identique. Eventrée en deux endroits à l'occasion d'une violente tempête au cours de l'hiver 1974 (Guilcher *et al.*, 1990), soumise dès lors à une grave situation de pénurie sédimentaire, la partie nord de la flèche du Faou a enregistré des reculs atteignant 78 m par endroits entre 1952 et 2006 [8].

À Mengleuz, l'ouverture d'une brèche au début des années 1960 s'est également soldée, à partir de 1978, par un recul de 45 m. Aujourd'hui, ces deux cordons sont fréquemment submergés. Les vagues passent

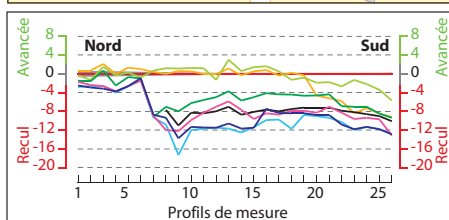
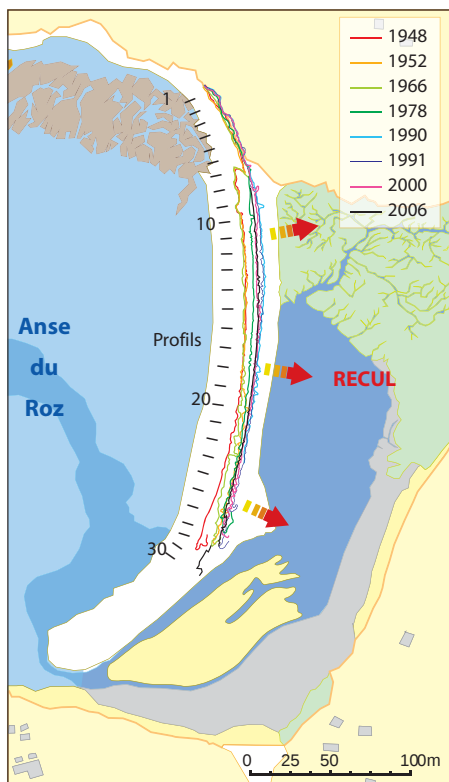
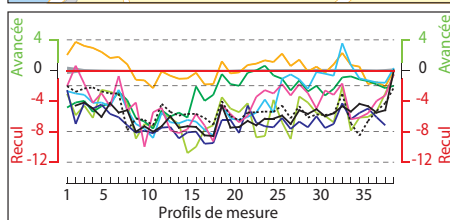
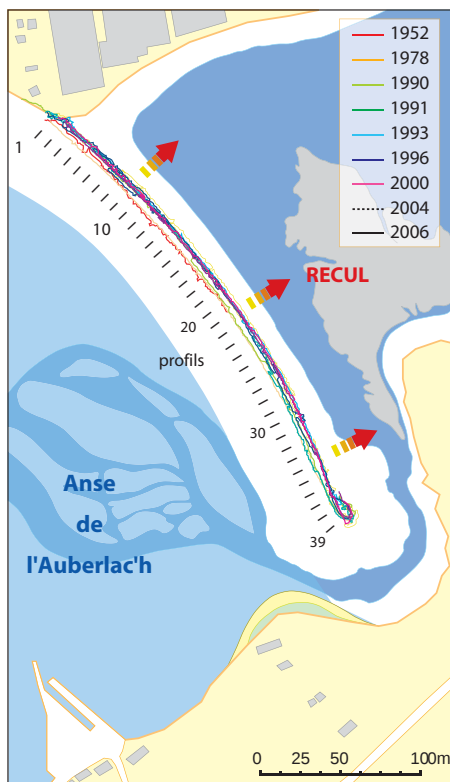
par-dessus la crête de l'accumulation et accélèrent le déversement des galets sur le revers du cordon qui ne cesse de rouler sur lui-même. Désormais, le fonctionnement morphosédimentaire de ces deux flèches s'apparente plus à celui des bancs de sable et de graviers sub-tidaux qu'à celui des véritables cordons de galets.

Les flèches qui se cannibalisent

Au cours des cinq dernières décennies, certaines flèches ont connu un phénomène de cannibalisation (flèche de Saint-Jean, de Troaon), c'est-à-dire d'allongement de la flèche au dépend d'elle-même, sous l'effet d'un transport sédimentaire longitudinal. La racine de la flèche s'est érodée au profit de sa partie distale qui a connu, à l'inverse, une progradation. L'évolution de la flèche de Troaon est une parfaite illustration de ce phénomène. De 1952 à 2006, l'enracinement de la flèche a progressivement reculé (-12 m le long du profil 8), incitant la municipalité de l'Hôpital-Camfrout à mettre en place un enrochement. Dans le même temps, la pointe de la flèche s'est engraisée. On y mesure une avancée de 15 m en moyenne. Toutefois, l'accumulation sédimentaire ne s'est pas accompagnée d'un allongement du cordon. Les puissants courants de marée permettant le remplissage et la vidange de l'étang du Troaon ont empêché le développement de la flèche vers le sud. Par ailleurs, le fulcrum s'est peu à peu déplacé vers l'extrémité distale du cordon à une vitesse d'environ 2,5 m/an depuis 1978. Cette évolution est problématique car elle trahit un contexte dans lequel la dérive littorale est désormais sous-alimentée. Le phénomène de cannibalisation au Troaon a débuté entre 1966 et 1975. Durant cette période, une cale permettant d'accéder à l'estran fut construite à l'enracinement de la flèche et n'a cessé, dès lors, de retenir les sédiments transportés par la dérive littorale en direction de la flèche [9].

La migration de stocks sédimentaires le long des flèches

Lorsque le transport sédimentaire est essentiellement longitudinal et que la dérive littorale est bien alimentée, l'évolution morphosédimentaire est alors dominée par le déplacement de « stocks » sédimentaires le long des flèches. Au sillon des Anglais, il est ainsi possible de suivre la migration d'une grande ride de galets le long du cordon, parcourant plus d'une centaine de mètres vers la partie distale de la flèche entre 1952 et 2006. Le volume des sédiments déplacés est estimé à 50 m³/an. Prenant la forme d'une vaste convexité sur le front du cordon,



[7] L'exemple de flèches en recul : la flèche de l'Auberlac'h et la flèche du Roz.

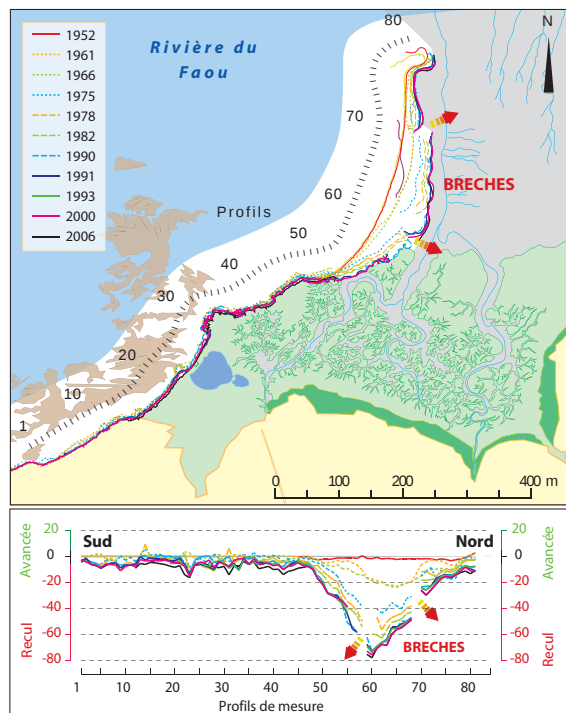
cette masse de galets viendra, à terme, alimenter le crochet terminal et contribuera à l'allongement du sillon en formant un nouveau bourrelet, identique à ceux mis en place par le passé et que l'on observe toujours dans la topographie de la flèche [10].

Une érosion d'origine naturelle...

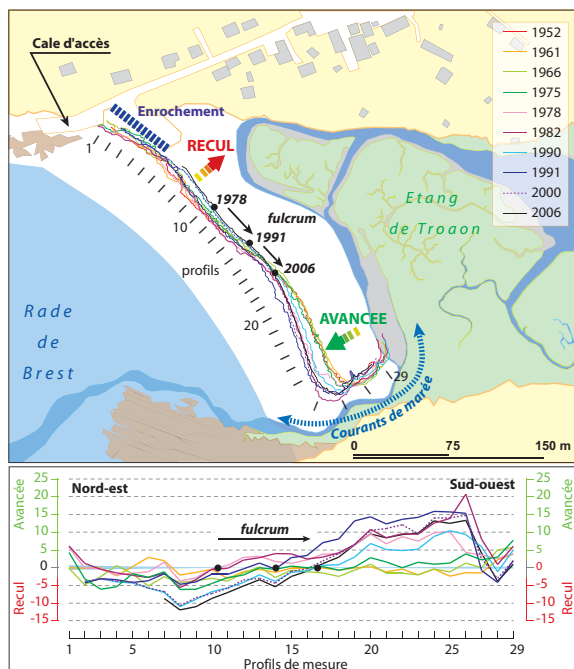
L'impact nuancé des tempêtes

Nous l'avons rappelé plus haut, la réponse morphosédimentaire des flèches de galets aux tempêtes est souvent brutale et peut se traduire soit par le recul des cordons, leur écrêtement ou encore par l'ouverture de brèches et l'abaissement de l'accu-

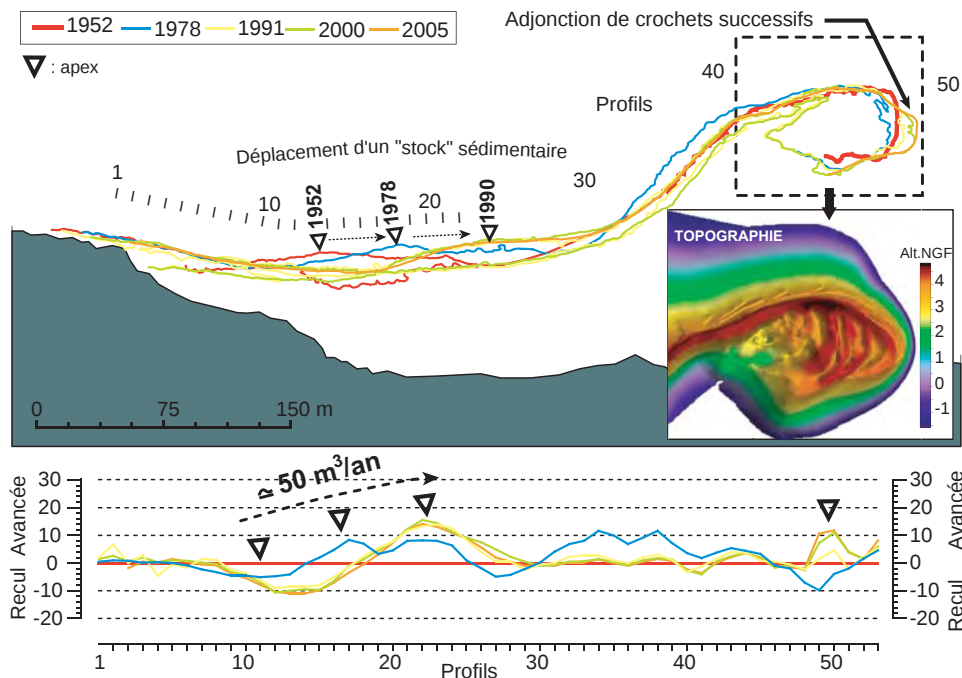
mulation. La seule étude ayant suivi précisément l'impact morphologique d'une tempête en rade de Brest a été réalisée par Berthois et Auffret (1969) sur la flèche du Loc'h, à Landévennec. Les levés topographiques qu'ils effectuèrent entre les mois de juin et de novembre 1967 permirent de cerner l'événement météorologique le plus énergétique de ces cinquante dernières années au Loc'h, survenu le 2 novembre entre 17 h et 18 h, lors d'une pleine de mer de vive-eau de coefficient 112. Des vents de nord-ouest, d'une vitesse moyenne de 17 m/s et bénéficiant d'un fetch de 18 km, provoquèrent sur le site du Loc'h de très fortes vagues, d'une hauteur supérieure à 70 cm. À 17 h, soit une heure avant la pleine mer, le marégraphe de Brest enregistrait une surcote de 45 cm, provoquée par la violence



[8] Rupture de la flèche du Faou et son évolution entre 1952 et 2006.



[9] Un exemple de cannibalisation à travers l'évolution morphosédimentaire de la flèche de Troaton entre 1952 et 2006.



[10] Evolution morphosédimentaire du Sillon des Anglais entre 1952 et 2005.

des vents et par la chute des pressions barométriques (975 hp) qui accompagnèrent le passage de cette dépression. A 18 h, les vagues atteignaient la cote de 8,40 m (hydro) et submergeaient presque intégralement le cordon, entraînant un écrêtement de la flèche de 50 cm, un étalement des galets sur le revers de l'accumulation et un recul du cordon de plusieurs mètres en direction de l'étang du Loc'h. Les volumes de sédiments déplacés durant ces deux heures furent considérables et les dommages que causa la tempête, irréversibles. De fait, la flèche du Loc'h n'a, depuis ce jour, jamais retrouvé sa morphologie initiale et a montré de nombreux signes de fragilité, comme en témoigne l'ouverture de brèches de plus en plus fréquentes à partir des années 1980 (Hallégouët et Morel, 1994) [11].

Les flèches du Faou et de l'Auberlac'h ont également subi les effets érosifs des tempêtes : la première durant l'hiver 1974 et la seconde au printemps 1984. À chaque fois, ces épisodes morphogènes coïncidaient avec une pleine mer de viveau et s'accompagnaient de vents favorables à la génération de fortes vagues. Mais cette conjonction de facteurs reste tout de même très exceptionnelle. À l'Auberlac'h, les données météo-marines des 50 dernières années indiquent qu'un tel événement se produit en moyenne deux fois par an, avec un impact morphogénique plus ou moins important en fonction de l'énergie des vagues. Sur d'autres cordons de galets, tels que le Bindy, le Roz, le Troaon, le phénomène est encore plus rare, il n'a lieu qu'une fois tous les deux ans en moyenne et ne se solde pas toujours par une érosion des cordons.

En effet, si l'impact des tempêtes est manifeste, il doit néanmoins être nuancé car il peut aussi être constructif si l'alimentation dépasse l'érosion. On observe alors l'édification de levées de tempête ou de rides de haut de cordon. Le déferlement violent des vagues projette les plus gros galets au sommet du cordon. La remontée progressive des galets vers la crête engendre alors un raidissement du front du cordon qui devient de plus en plus réflexif. Une partie des sédiments est ensuite chassée vers le bas, de sorte que le profil transversal de l'accumulation adopte une plus forte concavité. Au terme de l'épisode morphogénique, la flèche aura connu un exhaussement sommital ou l'adjonction d'une nouvelle ride de haut de cordon. Ces micro-formes, constituées par de

gros galets, favorisent la dissipation de l'énergie des vagues par infiltration. De très beaux exemples de ces rides dissidentes peuvent être observées sur le Sillon des Anglais où elles se présentent comme de petits cordons sub-parallèles à la flèche.

Ainsi les tempêtes, lorsqu'elles sont érosives, ne font souvent qu'exploiter une situation de fragilité causée par un déficit sédimentaire des cordons.

Les falaises : une source sédimentaire épuisée ?

En rade de Brest, les falaises ne sont plus en mesure de délivrer autant de sédiments que par le passé. Le recul des falaises de head a entraîné le développement progressif d'un large platier, jonché de blocs volumineux initialement présents dans les coulées périglaciaires, qui a pour effet de dissiper l'énergie des vagues à l'approche du pied de falaise, limitant d'autant l'action érosive de la mer. De plus, ces blocs constituent des obstacles au transit longitudinal des galets en direction des flèches qui ne reçoivent plus autant de sédiments qu'auparavant.

En outre, sur certaines portions de côte, notamment dans la partie sud de la Rade, le nettoyage des coulées superficielles de head a permis l'exhumation du substrat rocheux sous-jacent, particulièrement résistant. En maints endroits, des bancs de quartzites affleurent désormais et forment autant d'appointements contre lesquels les galets viennent s'accumuler. Les sédiments sont ainsi bloqués dans leur progression le long du rivage par ces épis naturels.

... ou d'origine anthropique ?

L'impact des aménagements côtiers

Dans un certain nombre de cas, l'érosion des flèches de galets en rade de Brest est liée, directement ou indirectement, à l'intervention de l'Homme sur le milieu littoral. Un grand nombre de cales d'accès à l'estran ont été construites en Rade et forment des ouvrages perpendiculaires à la ligne de rivage qui interrompent la continuité du transit sédimentaire en direction des accumulations. Bloqués en amont-dérive par ces épis, les galets s'y accumulent sur des épaisseurs parfois considérables et représentent autant de sédiments qui ne sont pas acheminés par la dérive littorale et qui viennent à man-

quer sur les flèches de galets. Immédiatement en aval de ces ouvrages, la dérive littorale se trouve sous-alimentée et l'énergie des vagues, dissipée auparavant dans le transport des sédiments, est alors employée dans l'érosion du rivage. Les exemples de tels aménagements côtiers sont nombreux et nous avons déjà évoqué le cas de la flèche du Troaon, dont la cannibalisation est causée par une cale de ce type. Dans l'anse de l'Auberlac'h (Plougastel-Daoulas), voici plus d'un siècle que le môle (construit en 1872 et allongé en 1932) bloque les sédiments cheminant d'ouest en est sous l'effet de la dérive. En amont de l'ouvrage, les galets se sont ainsi accumulés sur une épaisseur estimée à 7 m entre 1938 et 1993, donnant naissance à une véritable plage. Toutefois, la grève qui existait autrefois en aval du môle a aujourd'hui disparu et des problèmes d'érosion sont rapidement apparus, nécessitant la mise en place d'un enrochement. N'étant plus alimentée en sédiments, la flèche connaît désormais un déficit sédimentaire qui s'est traduit, dès 1984, par l'ouverture de deux brèches à l'enracinement du cordon. Colmatées artificiellement, les brèches ne se sont pas rouvertes depuis cette date, mais il semble qu'aucune tempête n'ait atteint la puissance de celle du 24 octobre 1984 dans ce secteur. La situation reste donc préoccupante. Par ailleurs, on note que la rive sud de l'anse connaît également une situation de ce type, causée par le môle du Four a Chaux [12].

L'artificialisation des falaises et le tarissement des sources d'alimentation sédimentaire

Si elle représente rarement plus de 20 % du linéaire côtier en rade de Brest (Henaff et Le Berre, 2003), l'artificialisation du littoral par la pose d'enrochements et de murets destinés à stopper le recul des falaises a également des conséquences néfastes en isolant les flèches de galets de leur principale source d'alimentation. Aussi, la multiplication récente de ces ouvrages constitue l'un des éléments de réponse pour expliquer l'érosion contemporaine de certaines formes d'accumulation. De plus, en créant parfois d'importantes réflexions de la houle ainsi que des turbulences, ces ouvrages augmentent l'érosion des grèves situées à leur pied. Cette remarque est d'autant plus vraie qu'en Rade, beaucoup de murs et enrochements sont directement réalisés par les propriétaires des terrains menacés par l'érosion, sans aucune conception technique préalable. De ce

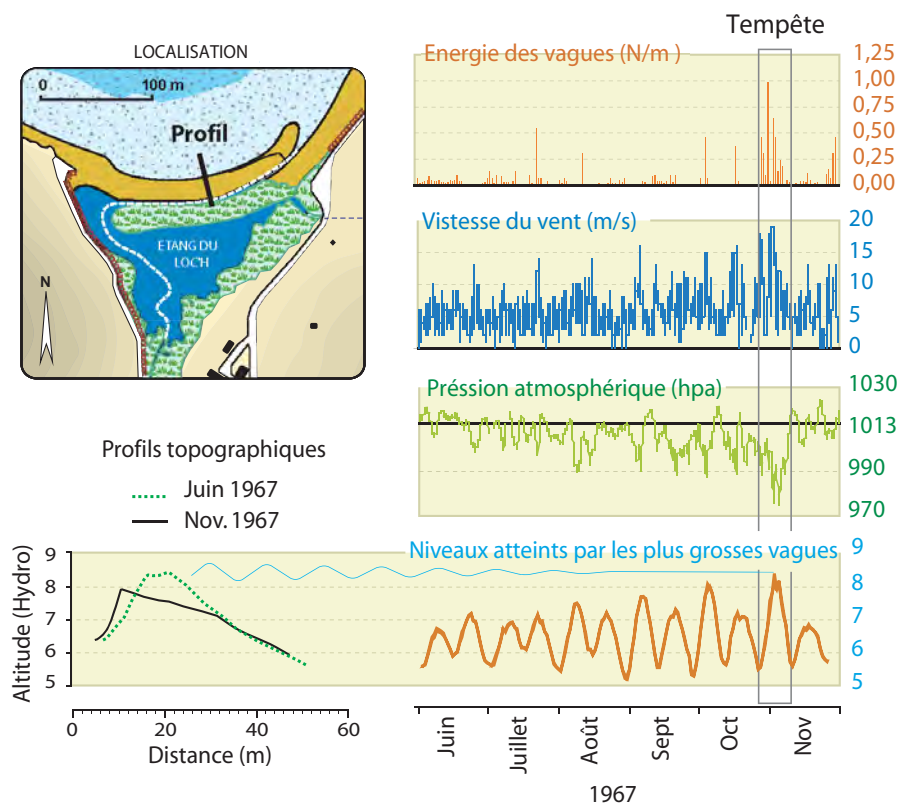
fait, l'efficacité d'une telle défense est très souvent aléatoire.

L'artificialisation des flèches littorales

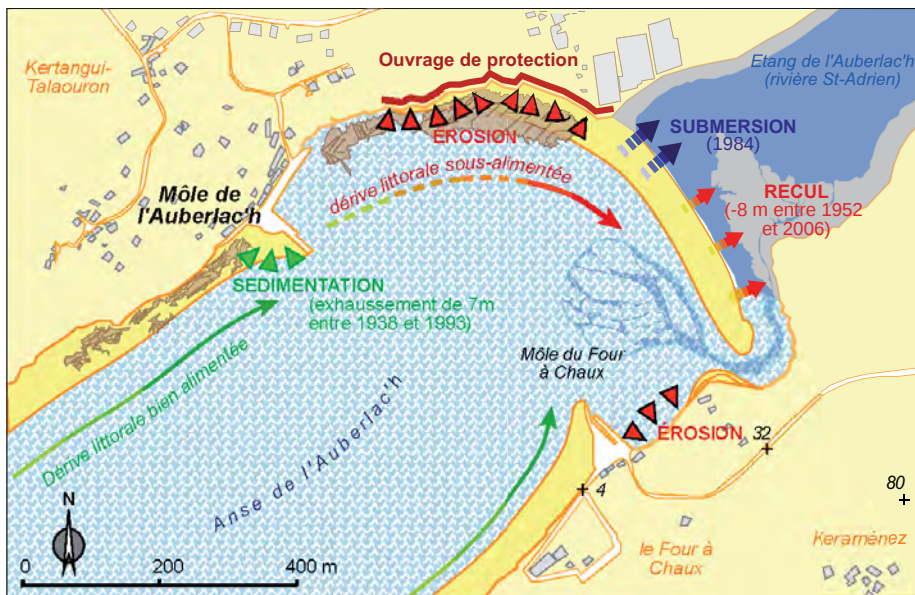
Dans certains cas, les flèches elles-mêmes sont artificialisées afin d'y faire passer une route longeant le littoral. À Quélern en Roscanvel, les formations de galets de Kervihan et de Penn ar Poull, décrites par Guilcher *et al.* (1957), ont servi de support à la construction de la D355 ceinturant la presqu'île de Roscanvel. Le cordon barrant l'anse du Fret, sur la commune de Lanvéoc, a lui aussi disparu sous l'asphalte constituant la D 55. Une destinée similaire a été réservée au cordon marquant l'entrée de l'anse du Caro à Plougastel-Daoulas. L'un des cordons du double tombolo de l'île du Renard supporte également un chemin d'accès non bitumé. Toutes ces constructions, rigides pour la plupart, ne sont pas adaptées à un environnement mobile. Un cordon stabilisé ne peut effectuer les ajustements morphologiques nécessaires car ces ouvrages fixent la forme de la flèche en plan et en altitude, et l'empêchent de se soumettre aux dynamiques naturelles. Au fil des tempêtes et des éventuelles submersions, la flèche perd progressivement de sa vigueur et les sédiments tendent à s'étaler vers le bas de l'estran. À terme, il faut donc renforcer l'ouvrage qui supporte le cordon. Ce scénario a probablement eu lieu à Roscanvel où de puissantes digues indiquent aujourd'hui l'ancien emplacement des flèches de galets.

La surfréquentation des cordons littoraux

Actuellement, plusieurs flèches accueillent des aires de stationnement automobile (au Bindy, au Bourg, à Mengleuz, au Renard) et le passage répété des véhicules sur ces cordons contribue incontestablement au tassement et à l'abaissement des crêtes des accumulations littorales, qui deviennent alors plus sensibles à la submersion marine. Par ailleurs, la fréquentation humaine de certains sites peut également être source de dégradation des flèches de galets. Le fait est avéré sur le sillon du Talbert ou sur le cordon de la baie des Trépassés, où le passage de milliers de touristes chaque été provoque une érosion de la crête et du revers du cordon de galets, se traduisant par un affaissement et un compactage des sédiments. En rade de Brest, plusieurs flèches se présentent comme un obstacle topographique qu'il faut franchir avant d'atteindre



[11] Conditions météo-marines et évolution morphosédimentaire de la flèche du Loc'h entre juin et novembre 1967 (d'après Berthois et Auffret, 1969).



[12] Effets perturbateurs du môle sur le fonctionnement hydrosédimentaire du littoral dans l'anse de l'Auberlac'h.

l'estran. Les promeneurs sont alors contraints d'emprunter la forte pente qui marque le revers du cordon, sur lequel les galets, tout juste en équilibre, ne demandent qu'à tomber. Après plusieurs passages, une voie s'ouvre dans le revers évoluant alors en une brèche d'origine anthropique. Ce type de dégradation a été mis en avant pour expliquer l'ouverture d'une brèche dans la flèche du Loc'h à Landévennec en 1993. Par ailleurs, l'importance de l'ostréiculture en rade de Brest est également responsable d'une fréquentation quotidienne des estrans par les professionnels. Habités aux sites littoraux qu'ils fréquentent quotidiennement, les ostréiculteurs perçoivent difficilement les évolutions morphologiques engendrées par le passage répété de leurs engins motorisés. La flèche de Mengleuz fut ainsi éventrée au début des années 1960 par les ostréiculteurs afin de leur faciliter l'accès à l'estran. Par la suite, la construction d'une cale en béton a permis d'entretenir cette ouverture dans la flèche. Depuis ce jour, le cordon ne bénéficie plus d'apports sédimentaires et connaît une érosion considérable.

Les prélèvements de galets

Contrairement aux cordons de galets des côtes normandes ou au cordon de l'Ero vili en baie d'Audierne, les prélèvements de galets n'ont jamais atteint un rythme industriel sur les rives de la rade de Brest et ont, de tout temps, gardé un caractère sauvage. Ainsi, au Loc'h de Landévennec, ils sont le fait des agriculteurs qui prétendent à un droit ancestral et continuent de prélever les galets sur la flèche (Morel, 1993). Ce matériel est essentiellement destiné à empierrer les chemins de servitude. Il a également pu servir à la construction de maisons anciennes, comme tel est le cas en pays Bigouden, ou dans le pays de Caux. Lors du plein essor de l'ostréiculture en rade de Brest, dans les années 1960, bon nombre de parcs à huître, de bassins de rétention d'eau et de cales d'accès à l'estran, ont été réalisés en utilisant le matériel lithique des flèches situées à proximité. À Mengleuz, les ostréiculteurs ont ainsi prélevé des galets sur le crochet terminal de la flèche, réduisant la longueur du cordon d'une cinquantaine de mètres (Stéphan, 2005).

Aussi, bien que les volumes de sédiments prélevés sur les flèches de la Rade ne sont pas comparables à ceux d'autres secteurs des côtes bretonnes ou normandes, qui ont connu une plus forte

pression anthropique, il n'en demeure pas moins qu'au sein d'un système littoral bénéficiant d'apports sédimentaires limités, de telles pratiques ont pu contribuer à déstabiliser l'équilibre de certaines formes d'accumulation.

Conclusion

En somme, établir la part de responsabilité des facteurs naturels ou humains dans l'érosion des flèches de la rade de Brest n'est pas une tâche aisée. Dans certains secteurs, on peut être sûr que l'Homme est à l'origine d'une pénurie sédimentaire entraînant l'érosion des accumulations littorales. Les aménagements côtiers, les prélèvements sédimentaires sur l'estran, la surfréquentation du rivage aboutissent à une fragilisation des flèches de galets qui reçoivent de moins en moins d'apports sédimentaires. Dès lors, les tempêtes prennent le relais et exploitent cette situation de pénurie en sédiments pour faire reculer les cordons. Néanmoins, il faut se garder d'attribuer aux actions humaines toute la responsabilité de l'érosion côtière. L'élévation du niveau de la mer s'accélère, les falaises délivrent désormais des sédiments en moindre quantité et ces facteurs participent également à l'érosion des cordons. Pourtant, il existe des secteurs connaissant une relative stabilité, voire même un léger engraissement sédimentaire à l'échelle des cinquante dernières années. Certains cordons résistent encore aux violentes tempêtes. Sur une échelle de temps séculaire à décennale, leur morphologie s'adapte aux changements climatiques et, épisodiquement, évolue en fonction des niveaux de marée ou de l'agitation de la mer. Cette capacité à s'adapter aux changements dépend d'un grand nombre de paramètres propres à chaque flèche : l'agencement des galets sur le cordon en fonction de leur taille et de leur forme, la perméabilité et la proportion de sable dans les interstices du sédiment, le volume de galets mobilisable, la topographie locale (configuration du trait de côte, bathymétrie côtière, espace disponible au développement de la flèche)... C'est sur ces aspects que nous porterons nos recherches futures afin de mieux cerner les facteurs intrinsèques à chaque flèche qui les prédisposent à un recul important ou, au contraire, à une stabilité à l'échelle des futures décennies. ■

Bibliographie

BERTHOIS L. & AUFFRET G. 1969 – Contribution à l'étude des conditions de sédimentation dans la rade de Brest. Dynamique des dépôts littoraux, *C.O.E.C.*, 5, pp. 469-485.

GUILCHER A., VALLANTIN P., ANGRAND J.P. & GALLOY P. 1957 – Les cordons littoraux de la rade de Brest. *C.O.E.C.*, 1, pp. 21-54.

GUILCHER A., BODÉRE J-C. & HALLÉGOUËT B. 1990 – Coastal evolution in western, southeastern and northern Brittany as a regional test of impact of sea level rise. Skagen Symposium, *Journal of Coastal Research*, (SI), n° 9, vol. 1, pp. 67-90.

HALLÉGOUËT B. & MOREL V. 1994 – Flèches en chicanes, évolution du complexe du Loc'h en rade de Brest, *Penn ar Bed*, n°152, pp. 20-31.

MOREL V. 1993 – *Méthode d'étude de protection naturelle du littoral par les cordons de galets en rade de Brest, l'exemple de quatre flèches (le Loc'h de Landévennec, le sillon des Anglais, le Pal, le sillon de l'Aubertac'h)*. Mémoire de D.E.A., Université de Bretagne Occidentale, 80 p.

STÉPHAN P. 2004 – *Quelques données nouvelles sur la dynamique morphosédimentaire des cordons littoraux de la rade de Brest, les sillons d'Aod ar Mengleuz (Logonna-Daoulas) et du Loc'h (Landévennec)*. Mémoire de D.E.A., Université de Bretagne Occidentale, 274 p.

STÉPHAN P., FICHAUT B. & SUANEZ S. 2005 – Les cordons littoraux de Mengleuz (Logonna-Daoulas) et du Loc'h de Landévennec : aspects récents et actuels de l'érosion de deux flèches de galets en rade de Brest. *Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne*, n°2, pp. 1-19.

WÖPPELMANN G., POUVREAU N. & SIMON B. – Brest sea level record: a time series construction back to the early eighteenth century. *Ocean Dynamics*, n°56, (sous presse).

Lexique

Fetch : Distance parcourue sur la mer par les vagues avant de parvenir à la côte. On parle également de course des vagues ou de course des houles.

Flèche littorale : Forme d'accumulation sédimentaire, bénéficiant d'un point d'ancrage à la terre ferme sur l'une de ses extrémités seulement (racine, partie proximale) tandis que l'autre s'avance librement vers la mer (pointe, partie distale) et se termine en crochet recourbé vers l'intérieur. Sous l'effet de la dérive littorale, les sédiments se déplacent de la partie proximale vers la partie distale où ils contribuent à l'allongement de la flèche.

Fulcrum : Sur une forme d'accumulation littorale, ce substantif latin désigne le point séparant la zone de départ des sédiments en érosion et la zone d'accumulation.

Head : Formation superficielle de versant, mise en place au cours des différentes périodes froides du Quaternaire sous l'action des alternances gel/dégel de l'eau contenue dans la roche et dans les sols. Il est composé de matériel sédimentaire très hétérométrique allant des argiles jusqu'aux méga-blocs.

Pierre STEPHAN est doctorant au laboratoire Géomer - LETG UMR 6554 CNRS à l'Institut Universitaire Européen de la Mer à Plouzané.
