



Le système plage-dune de Merlimont-Berck et son évolution depuis la seconde guerre mondiale

Yvonne Battiau-Queney¹

Résumé/Abstract

Les dunes de Merlimont-Berck, d'un seul tenant sur plus 1000 ha, sont l'illustration la plus achevée des dunes « picardes ». La 1^{ère} partie de l'article décrit leur origine et leur évolution jusqu'à la deuxième guerre mondiale, grâce aux cartes anciennes et aux archives photographiques. Les dunes externes étaient très mobiles et peu végétalisées et l'avant-dune absente ou discontinue. La 2^e partie de l'article reconstitue la mobilité du trait de côte et la naissance et l'évolution de l'avant-dune après la 2^e guerre mondiale, à partir de la « bunker-archéologie » des ouvrages du Mur de l'Atlantique et de l'analyse des photos aériennes de l'IGN. En 1947, les dunes externes avaient peu changé depuis 1935 : grandes dunes mouvantes s'allongent vers l'ENE et directement alimentées depuis la plage. L'avant-dune n'est nette qu'à partir des années 1960. Les photos aériennes soulignent l'ampleur des interventions humaines sur tout le domaine dunaire au sud de Merlimont (quadrillage de brise-vent et plantation d'oyat). Le trait de côte a reculé assez nettement à partir des années 1970 jusqu'aux années 1990 avant de ré-avancer. La morphologie des dunes externes (avant-dune bien formée et système couloirs/ pourrières), si caractéristique du paysage actuel, ne date que du début des années 1980. Le suivi topographique complété par celui des bunkers allemands de 1993 à nos jours montre la mobilité extrême du trait de côte sur le court terme. L'alternance de recul et d'avancée fait apparaître une remarquable résilience de ce système côtier macrotidal, grâce au rôle de stockage de l'avant-dune, à une dynamique éolienne très active et à l'abondance de sable dans les petits-fonds. A contrario, toute absence ou destruction de l'avant-dune est une menace pour le budget sédimentaire de la plage, comme c'est le cas le long de la digue de Merlimont.

The Merlimont-Berck dune-field which extends over more than 1000 ha is the best example of "Picardy dunes". Seven main units are observed from the sea eastwards: the intertidal zone, the upper beach, an outer dune system, an interdune sandy plain, the inner dunes and a low flat wetland limited eastwards by a marine palaeo-cliff. First the paper analyses the origin and development of the dunes before the 2nd World War thanks to old maps and photos. In the first 30 years of the 20th century the outer dunes were mainly bare-surfaced and constantly moving inland. In most places the foredune was absent. In the second part the paper analyses the evolution of the outer dunes after the second World War. In 1947, just after the war and the mine clearance operations, the outer dunes have not changed significantly in comparison with 1935. South of Merlimont-Plage, huge bare-surfaced sand tongues stretch northeastwards from the beach and the foredune is absent except close to Berck. The methods to follow up the changing dune morphology and shoreline use aerial photos (IGN archives), bunker-archeology and field monitoring. A stereoscopic analysis of the photos was often necessary to clearly identify the shoreline, incipient dunes and other dune landforms. Moreover a good geomorphological knowledge of the field is required to interpret accurately the photos. The "Bunker archeology" refers to the utilization of the German bunkers and other works of the "Atlantic Wall" to reconstitute their architecture, military purpose and exact original position. It is based on a careful analysis of their remnants in the field, completed by the study of military and civil archives. It may give very interesting and precise data on the shoreline change and foredune development since 1944. In this paper a bunker complex located south of Merlimont-Plage, in front of the National Biologic Reserve, has been chosen to show the great interest of these benchmarks. The results concern two main points: the shoreline change and the development of a foredune in the 20 years following the war. The successive IGN aerial photographs allow to follow up the bunker complex in relationship with the changing morphology. In October 1947, all the bunkers are still in their original position and badly seen on the photo. The access road is partly covered with sand but still recognizable. The foredune is low and very discontinuous north of the bunkers and completely absent to the south. A parabolic dune is forming in the north (on the left side of the photo). There are wide areas of bare sand directly connected with the beach. The sand deposit was certainly massive since no bomb-holes are seen in this area, which was strongly bombed by the British in 1943 and 1944. In April 1955, the whole outer dune system has been remodeled, more or less flattened and squared off with windbreaks oriented NNW-SSE. Wide areas are bare-surfaced. The bunkers are better seen than in 1947. Two gun tanks lie on the upper beach. The foredune is totally absent. In August 1961, the main casemate has moved down but it is still leaning against the dune slope. A narrow sand bench has formed in front of the previous shoreline. On the top of the photo (to the south) there is a dense grid of windbreaks associated with marram planting. Along the beach the foredune is not well formed yet (it is present on the 1963 photo). Inland numerous small sand mounds are being colonized by vegetation (marram?). In 1968, the bunkers position has not changed significantly. The bare-surfaced sand bench along the upper beach is well developed. An incipient foredune is forming but it is discontinuous with numerous transverse troughs. Inland the effect of human intervention is even more spectacular than in 1961 with wide areas which are equipped with windbreaks and planted with marram. In May 1974, the coastal strip has changed: the sand bench has disappeared and all the bunkers lie on the beach. This is related to several storm events which happened just before. To the north a small incipient foredune has formed in front of a higher dune covered with marram. In August 1983, the main casemate lies a few meters in front of the dune. It is noticeable that the bunker position is exactly the same than today, 30 years later, the sand bench has disappeared in that area (but present further north) where a cliff cuts the dune face. The shoreline has distinctly retreated since 1968. The appearance of the outer dunes has changed also: the white dune has extended and the grid of marram planting is well seen. A system of SSE-NNW troughs and bare sand tongues ("P" on the photo) has formed. A large blowout is changing into a parabolic dune ("C" on the photo). Other blowouts have formed inland: the natural wind dynamics is working to create more natural landforms. But a new bike trail through the dunes proves that the battle for nature conservation is not completely won. In 2000, the situation has just slightly changed. The system of troughs/sand tongues is very well developed. The foredune has been cut into a sandy cliff. Once again this erosion feature must be connected with successive storms in the 1990's. The present shoreline (in 2014) has advanced since 2000. Finally the shoreline retreat between 1944 and 2014 is about 35 to 40 m, i.e. 0.50 to 0.57 m per year on average. But this rate does not reflect the long term evolution: the retreat took place mainly between 1974 and 2000, then the shoreline has advanced, so that the present situation is the same than in 1983. So it would be incorrect to use an average rate measured in a short period to anticipate the future long term evolution. Especially in a macrotidal environment the effects of storms depend not only of their occurrence frequency but also of their simultaneity with spring tide. The analysis of aerial photos clearly shows that the origin of the foredune south of Merlimont has been

1. EUCC-France, LOG UMR 8187 CNRS/ Lille/ULCO - y.battiau.euccfrance@gmail.com

strongly helped by human actions (windbreaks and marram planting) in the years following the war. The foredune was absent in 1944, but well formed in 1963 combined with incipient dunes on the upper beach. Well established in 1971, the foredune height has increased significantly in the following years. A layer of compost mud which was deposited in 1969 north of Berck and visible in the sand cliff of the foredune was covered by 3 to 4 m of sand in 1994. So the foredune of the south beach of Merlimont was initiated by man but then it developed naturally thanks to the deposit of blown sand from the beach. Presently it is 15 to 25 m high and continues to trap the beach-sand. The third part of the paper analyses the short-term shoreline change and emphasizes the resilience of the beach-dune system thanks to sediment exchanges between the beach and foredune. All along the beach of Merlimont (and in many other places of the Opale Coast) the contact between upper beach and foredune face is constantly changing at a very rapid rate (from one tide-cycle to another and throughout the year). The German bunkers are good benchmarks to observe and evaluate the change. It is due to massive volumes of sand moving from dune to beach during the storms combined with high tide, or from beach to dune when the prevailing winds blow over a wide sandy beach at low tide. The wind dynamics is the most important factor to explain the resilience of the beach-dune system of this coast. The blown sand piles up on the upper beach and at the foot of the dune. It will stay there and form a stock of sediment which might be removed by storm waves without threatening the beach equilibrium. These natural exchanges of sediment are the key to the good state of the beach. They work very well all along the North-South coast between the Canche and Somme estuaries thanks to the prevailing sea winds, abundant sand supply and wide sandy surfaces at low tide. The fourth part of the paper questions how a beach-dune system might work without any foredune. Two cases have to be considered: either the absence of foredune is natural, or it has been destroyed. The first case existed before the 2nd World War south of Merlimont. During storms the sea could enter the dune-field through wide troughs and deposit marine sediment which was later reworked and moved inland by the wind. The beach-dune system was less resilient. Nevertheless the shoreline was not retreating considerably because the amount of sand coming from the sea could compensate the inland export of blown sand, thanks to the voluminous sediment supply present in nearshore sand bars inherited from the last Glacial Period, when the sea-level was 120 m lower and the Channel received the load of several large rivers (Rhine and Seine were the most important). The second case exists where a seawall has been constructed and the dune replaced by a built area. In front of the seawall of Merlimont the beach is narrow or absent at high tide and the waves tend to sap the foot of the dike. The wind dynamics is still active but the blown sand is no more kept in stock but spread over the sea front where it tends to bury streets and buildings. It is lost for the sediment budget of the beach which gets lower after each storm. Any sustainable solution has to take account of both marine and wind dynamics. So in May 2014 a system of beach dewatering (ECOPLAGE®) was installed with 2 sets of 6 drains and a pump station. The purpose is to increase the accumulation of sand on the upper beach in the swash zone. Then wooden fences will be set up to prevent the beach sand to be blown out.

Mots clés/Key-words

Merlimont (Pas-de-Calais, France), morphologie dunaire, environnement macro-tidal, système plage-dune, résilience, bunker-archéologie, dynamique éolienne.

Merlimont (north of France), dune morphology, beach-dune system, macro-tidal environment, resilience, bunker-archeology, wind dynamics.

Origine et évolution du système dunaire de Merlimont-Berck jusqu'à la deuxième guerre mondiale

Le site de Merlimont-Berck est l'illustration la plus achevée de ce qu'Abel Briquet (1930) qualifiait de « dunes picardes », des falaises boulonnaises à l'estuaire de la Somme (figure 1).

Sur les communes de Merlimont et de Berck, le système dunaire forme un vaste ensemble d'un seul tenant sur plus de 1000 ha (Battiau-Queney, 2007). De la mer vers la terre on trouve 7 unités morphologiques et paysagères (figure 2) : un estran sableux, un haut de plage où se forment des dunes embryonnaires, un système dunaire externe (avant-dune à oyat et arrière-dunes à morphologie complexe), une plaine sableuse interdunaire, un système dunaire interne (dunes paraboliques), un bas marais maritime (ici le marais de Balançon) potentiellement submersible, car situé sous le niveau des plus hautes mers, une paléo-falaise marine, active lors de la dernière transgression post-glaciaire, bien visible dans le paysage car elle forme le rebord du plateau crayeux du Montreuillois qui culmine entre 40 et 50 m d'altitude (Battiau-Queney et al., 2014).

Les dunes internes appartiennent à une jeune génération, formée depuis moins de 1000 ans (Vinchon et al., 2000). De leur naissance jusqu'à la fin du 18^e siècle, on avait là de grandes dunes mouvantes impliquant une forte mobilité du sable depuis la plage, due à

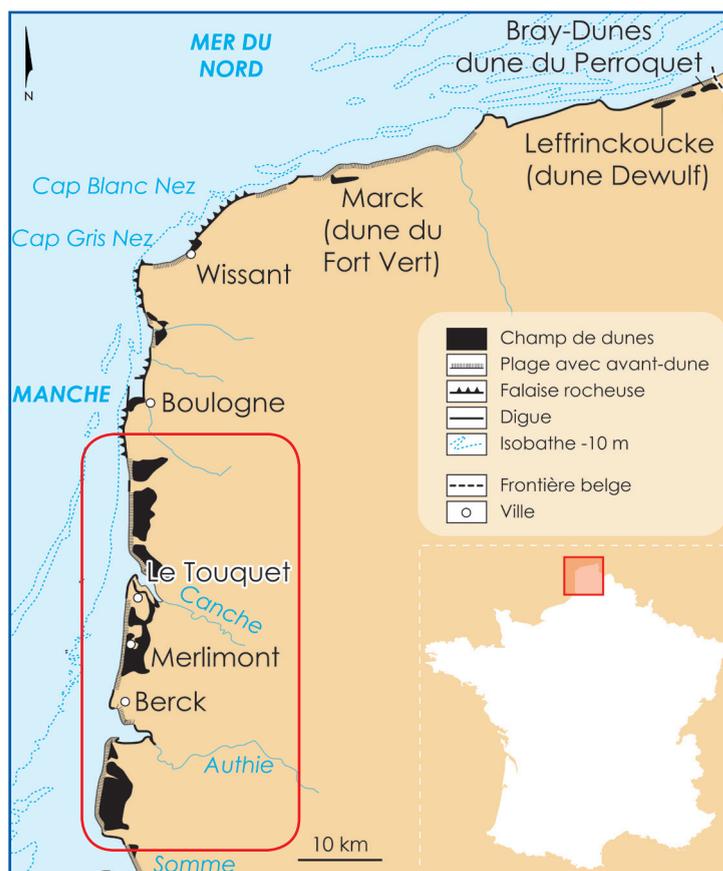


figure 1 : Localisation des « dunes picardes » qui s'étendent des falaises boulonnaises au nord à la baie de Somme au sud, encadrées de rouge.

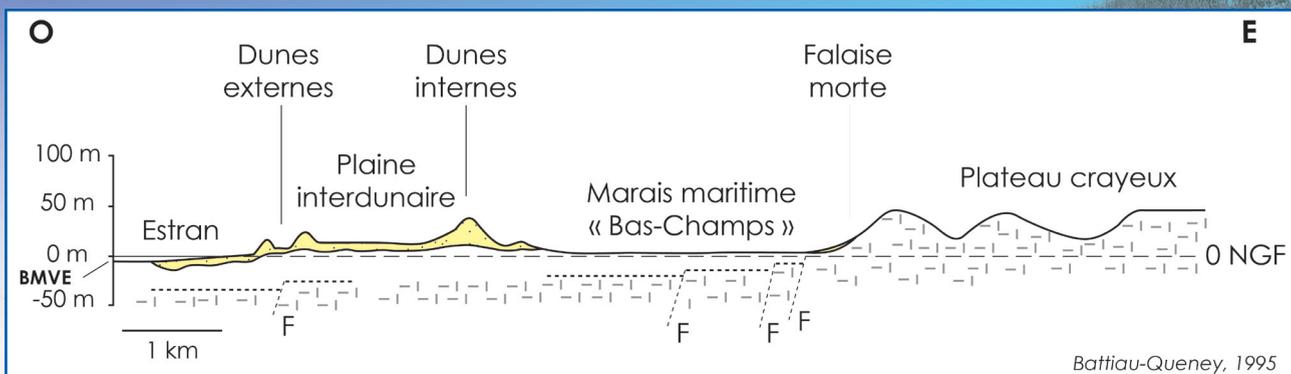


figure 2 : Dispositif général du système dunaire de Merlimont-Berck, modèle des dunes « picardes ».

une puissante dynamique éolienne. La dynamique végétale était relativement plus faible, sans doute ralentie par l'arrachage des oyats (utilisés comme combustible), le pâturage et la prolifération des lapins. D'après la carte de Cassini, réalisée vers 1754, le trait de côte et donc la plage qui était la source du sable, étaient plus proches du village de Merlimont que maintenant (figure 3). En 250 ans, même si l'on tient compte des incertitudes de la cartographie du trait de côte, en prenant pour référence l'église de Merlimont, la terre a progressé d'au moins 350 à 400 m aux dépens de la mer au sud de Merlimont-plage. L'exhaussement des dunes internes était possible tant que les dunes externes ne formaient pas d'obstacle majeur entre la mer et elles, cela jusqu'au 20^e siècle.

La carte d'Etat-major représente la situation de la première moitié du 19^e siècle (figure 3). Même si la cartographie n'est pas très précise, on y reconnaît les

hautes dunes du système interne contrastant avec la discontinuité et la hauteur moindre des dunes proches de la plage et la quasi absence de formes dunaires dans la plaine interdunaire. On voit aussi l'enclavement du village de Merlimont entre les dunes et le marais.

Les dunes externes, avant la deuxième guerre mondiale, étaient généralement basses peu végétalisées et très mobiles. Abel Briquet (1930) donne une vision assez précise de ces dunes mouvantes qui ont contraint ses propriétaires à fermer le petit chemin de fer de Berck au Touquet en 1928. Globalement, le dispositif dunaire n'a pas fondamentalement changé de 1850 à 1935 : sur une photo aérienne de l'IGN prise en 1935 (figure 5), on distingue les grandes dunes internes de forme parabolique, une plaine centrale saupoudrée de sable avec quelques rares formes dunaires et un système littoral marqué près de Merlimont-Plage par



figure 3 : A gauche, carte de Cassini (levée vers 1754). A droite carte de l'Etat-major levée entre 1847 et 1869 (le Grand Hôpital Maritime de Berck inauguré par l'Impératrice Eugénie en 1869 n'existe pas encore, mais on y voit le chemin de fer desservant Rang-du-Fliers et Etaples, datant de 1847). L'extrémité sud des dunes internes correspond à l'ancien estuaire de l'Airon. Source : archives de l'IGN, Géoportail (<http://www.geoportail.fr>).



figure 4 : Les dunes au sud de Merlimont en 1929 (Collection Paul Bar-dou).

de grandes langues sableuses s'allongeant vers l'intérieur des terres, dans la direction des vents dominants et enserrant le quadrillage de rues du village. C'est ce paysage qui apparaît sur la photo prise en 1929 au sud de la station de Merlimont (figure 4) : la plage se raccordait directement à un champ de dunes basses à couverture d'oyat très clairsemée: on y voit les hautes dunes du système interne en arrière-plan.

I- L'évolution depuis la dernière guerre mondiale

A- La situation en 1947

Il ressort des documents d'archives analysés précédemment que l'actuelle avant-dune continue, si caractéristique de la côte entre Merlimont et Berck, n'existait pas pendant la dernière guerre mondiale.

Sur les photos en stéréo de la mission IGN de 1947 (figure 6), la situation de l'immédiat après-guerre est très semblable à celle de 1935 : au sud de Merlimont-Plage, de grandes langues de sable s'avancent depuis la plage vers l'est-nord-est, sans qu'il y ait d'avant-dune continue. Toute la station balnéaire de Merlimont est menacée d'ensablement et le sable envahit la plaine interdunaire en une nappe mouvante qui fait que les trous de bombe très nombreux au sud-est du village dans une zone non encore ensablée sont bien visibles alors qu'ils ne le sont plus ailleurs. L'avant-dune est beaucoup plus continue dans la partie berckoise.

B- Méthodes d'étude pour le suivi des dunes externes

Nous disposons pour cela des photos aériennes verticales de l'IGN, des repères de terrain constitués par les ouvrages du Mur de l'Atlantique (1943-1944), et des observations et mesures de terrain réalisées depuis 1993 par les chercheurs de l'Université de Lille 1, en étroite collaboration avec l'ONF. Elles concernent à la fois le trait de côte, l'état de l'avant-dune et les échanges de sable entre la plage et le complexe dunaire dans sa globalité.

L'exploitation des photos aériennes verticales (archives de l'IGN)

Les missions réalisées par l'IGN depuis 1935 sont (sauf les plus récentes) disponibles sur le site de Géoportail.

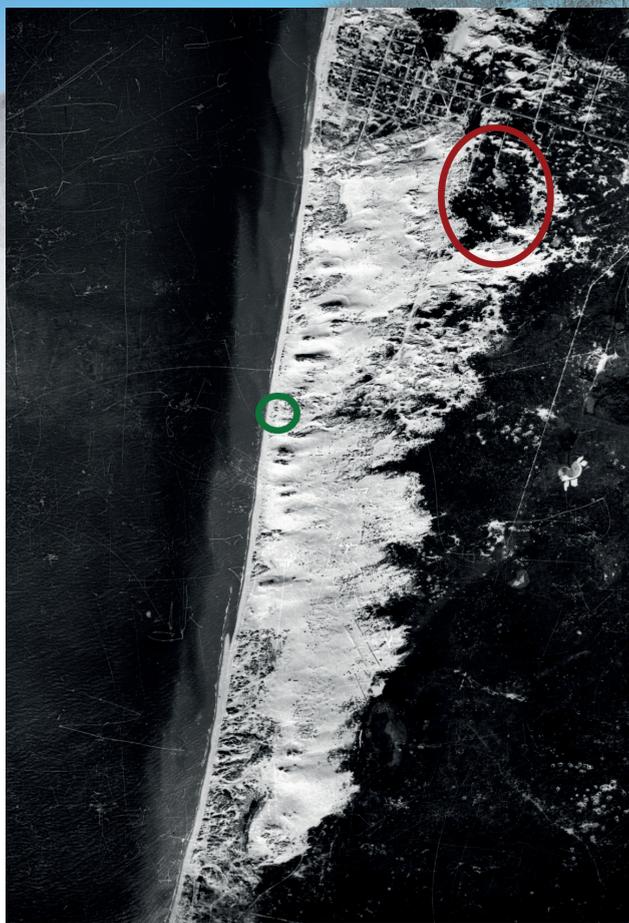


figure 6 : Le système dunaire externe en 1947. Le cercle rouge entoure une zone truffée de trous de bombes. Le cercle vert indique l'emplacement des bunkers de la RBD, encore en haut d'un monticule sableux en 1947 et aujourd'hui en pied de dune. Merlimont en ruine est envahi par le sable. Source : archives de l'IGN (mission Montreuil-Lillers 1947-Cliché n°112).

L'analyse stéréoscopique des photos est souvent nécessaire pour bien identifier le trait de côte, les dunes embryonnaires du haut de plage et les autres formes dunaires. Le trait de côte est défini comme le pied de l'avant-dune quand elle est en contact direct avec la plage, ou comme la limite visible sur photo aérienne de la végétation pionnière, ou encore comme le talus marquant le rebord d'une accumulation éolienne de haut de plage. Une bonne pratique de terrain permet d'interpréter correctement les photos (figure 7).

La « bunker archéologie »

Ce terme désigne l'utilisation des ouvrages allemands du « Mur de l'Atlantique » pour reconstituer l'architecture, la destination et l'emplacement d'origine des ouvrages. Elle se base sur l'observation de ce qui en reste sur le terrain, complétée par l'analyse des archives militaires ou civiles (Lanoy-Ratel, 1998, 2004). Elle permet d'en tirer des conclusions parfois très précises sur la mobilité du trait de côte depuis 1944 et sur les changements morphologiques de l'avant-dune. Pour cet article nous avons retenu l'exemple d'un complexe de bunkers situé sur la plage sud de Merlimont, au droit de la Réserve biologique domaniale, en analysant son évolution sur les photos aériennes de l'IGN.

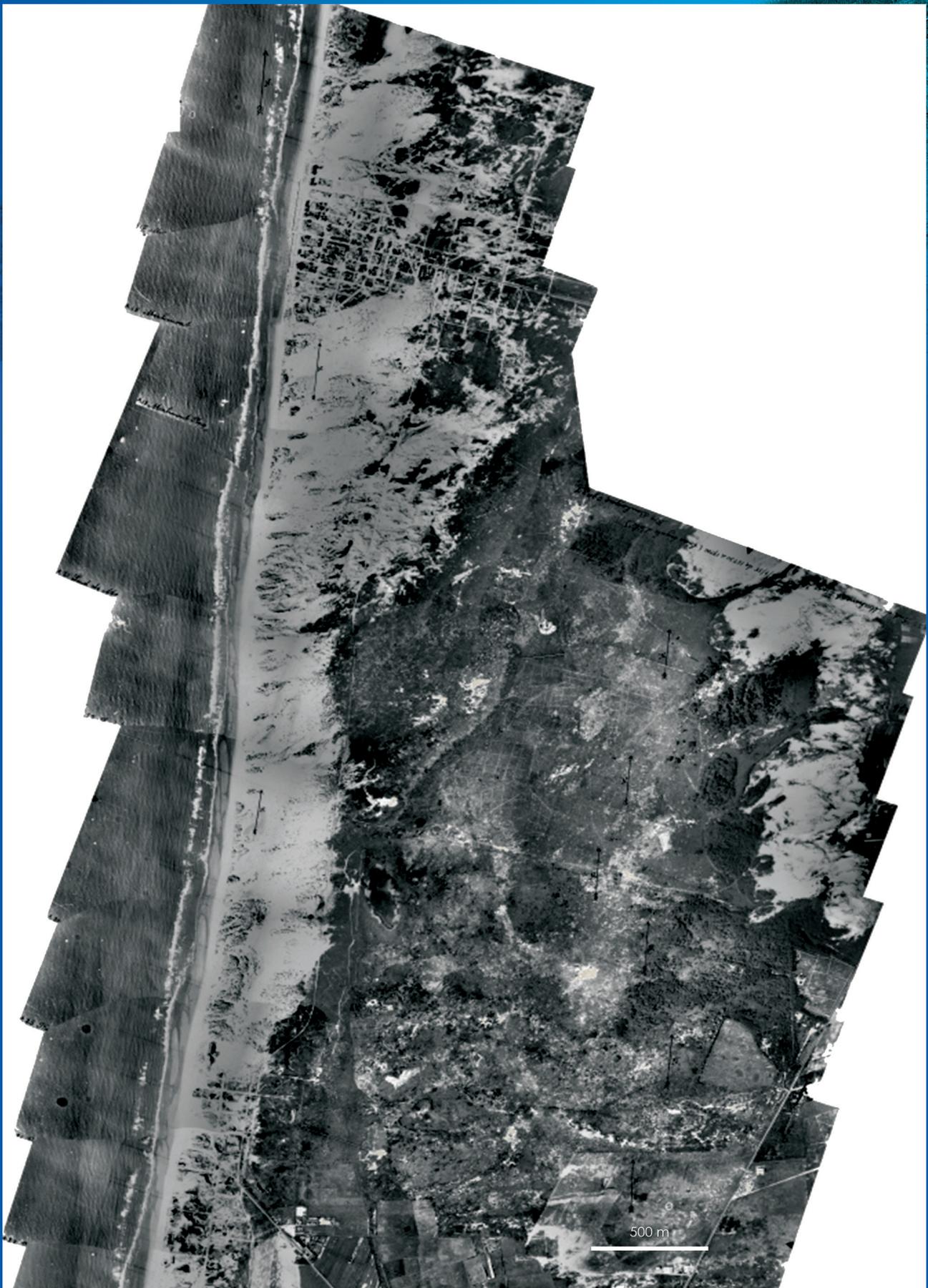


figure 5 : Le double complexe dunaire de Merlimont-Berck en 1935. On note l'étendue des dunes nues exemptes de toute végétation dans la bande littorale. L'avant-dune est plus continue vers Berck que près de Merlimont. Les hautes dunes paraboliques du système interne sont encore actives. On distingue quelques ébauches de paraboles dans la plaine interdunaire. Source : archives de l'IGN, Géoportail (<http://www.geoportail.fr>).

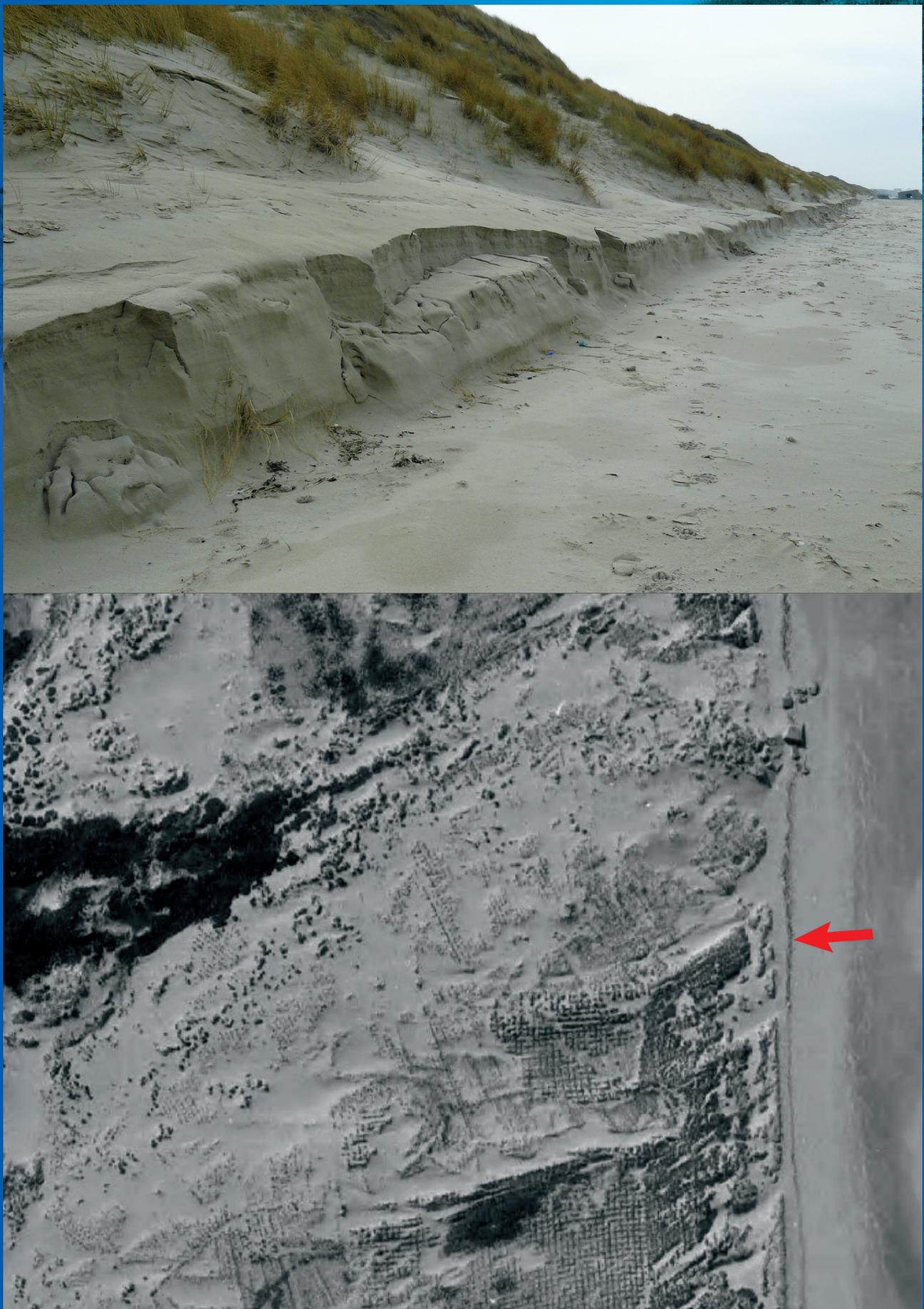


figure 7 : En haut, exemple de falaise entaillant un prisme d'accumulation éolienne. Le talus marque le trait de côte instantané (mars 2008). Ce même type de talus est visible sur la photo aérienne du bas datant de 1968, au pied de l'avant-dune établie. Il est significatif d'un bilan sédimentaire équilibré pour le système plage-dune et correspond à une phase de reconstruction dunaire avec légère avancée du trait de côte, momentanément interrompu par un épisode érosif. L'échelle de temps est un paramètre essentiel à considérer pour une interprétation correcte.

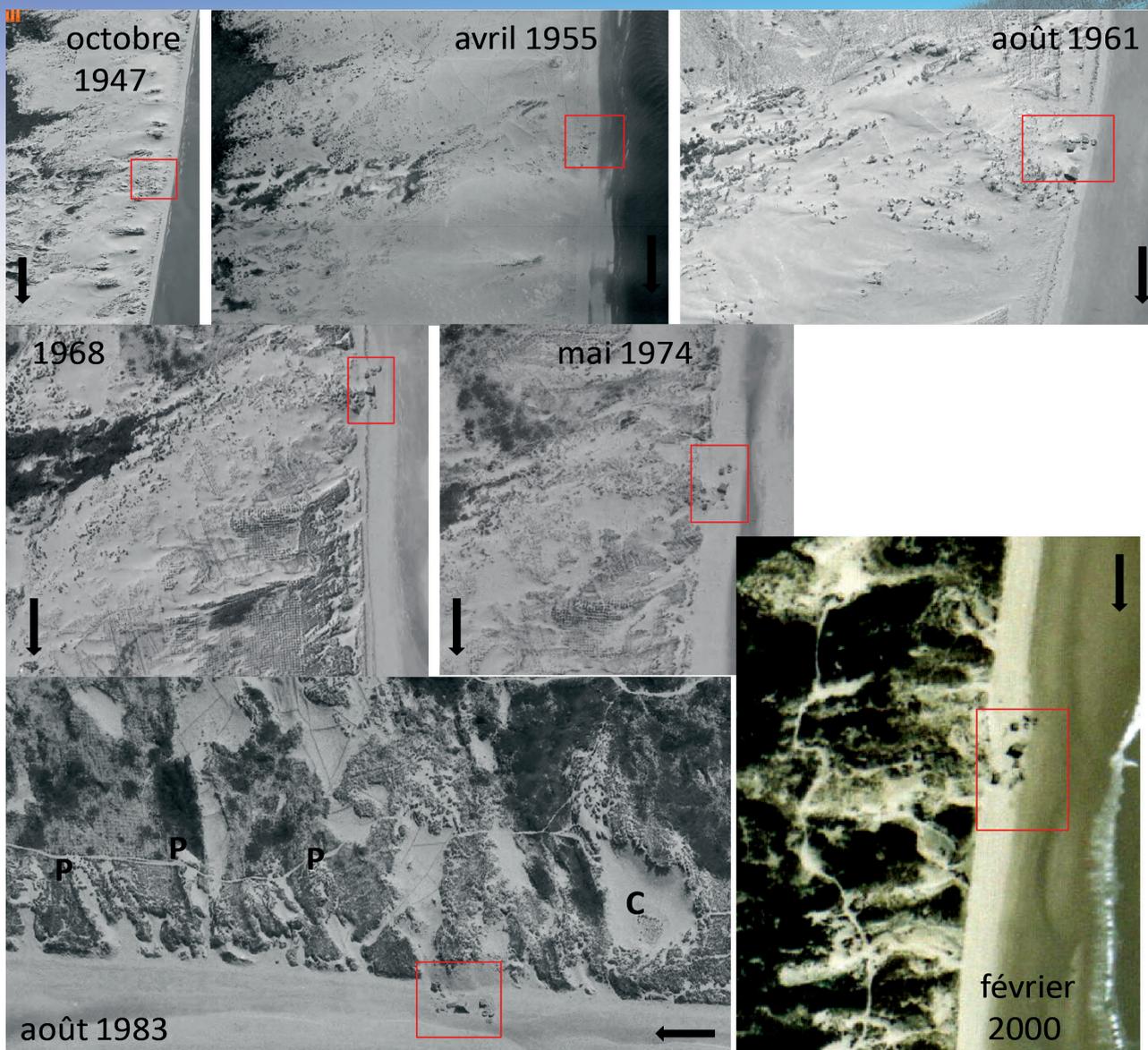


figure 8 : Extraits agrandis de plusieurs photographies aériennes (IGN) montrant un même site entre Merlimont-Plage et Berck de 1947 à 2000. Les bunkers allemands (ici dans les cadres rouges) sont de bons points de repère pour évaluer la retraite du littoral.

C- Résultats

La mobilité du trait de côte

Le « point d'appui » du Mur de l'Atlantique situé sur la commune de Merlimont à mi-chemin entre Berck et Merlimont a fait l'objet d'un suivi régulier sur le terrain depuis 1993 qui a pu être confronté avec les photos de l'IGN antérieures (1947-1989). Il comprenait une casemate de flanquement, un tobrouk pour tourelle de char, deux cuves pour canon antichar et divers autres petits ouvrages bétonnés ou en brique (Lanoy-Ratel, 2004). Une route d'accès bétonnée desservait le complexe depuis Merlimont. P. Lanoy-Ratel (1998) a retrouvé plusieurs photos d'époque de ce complexe militaire. Les deux cuves marquaient la première ligne de résistance sur le haut de plage. Elles devaient être camouflées au ras du sable pour ne pas être visibles du ciel et sont de bons indicateurs du trait de côte de 1944. La casemate était en hauteur sur le point haut de la dune avec un large champ de tir, mais également bien camouflée (le toit était à la hauteur du sommet

de la dune). Le tobrouk devait se trouver légèrement en contrebas à mi-pente de la dune, car son ouverture bétonnée oblique indique une implantation dans une pente. Presque tous les ouvrages sont aujourd'hui sur la plage. Les photos aériennes des archives de l'IGN permettent de suivre le trait de côte (figure 8).

- En octobre 1947 (donc après les opérations de déminage), les bunkers sont bien en place sur la dune et peu repérables du ciel. La route d'accès est très ensablée mais encore visible. L'avant-dune (basse) est absente ou très discontinue au nord des bunkers, et elle disparaît complètement au sud. Elle réapparaît plus au sud en s'approchant de l'usine des dunes (non visible sur ce document), plus haute et plus continue. Une dune parabolique se forme au nord (à gauche de la photo). Il y a de larges zones de sable nu, en relation directe avec la plage. La dune blanche à oyats est restreinte aux points hauts. L'ensablement depuis la plage devait être important car on ne voit pas de trous de bombes dans ce secteur pourtant touché par les bombardements alliés de 1943 et 1944.

- En avril 1955, tout le système dunaire externe semble avoir été remodelé, plus ou moins aplani et quadrillé avec des brise-vent (ganivelles ?, filets ?) orientés NNW-SSE et de larges étendues de sable nu. Les bunkers sont plus visibles qu'en 1947 : les deux cuves sont sur la plage un peu en avant du pied de dune. L'avant-dune est inexistante dans ce secteur.

- En août 1961, on voit très nettement les deux cuves à canon sur le haut de plage. La casemate de flanquement a basculé mais reste encore adossée à la dune. Un petit talus (peut-être souligné de dunes embryonnaires) limitant une banquette s'est formé en avant de l'ancien trait de côte: il y a eu une petite avancée du trait de côte par rapport à 1955. Vers le haut de la photo (au sud) un quadrillage serré correspond à des ganivelles ou fascines avec plantations d'oyat. Il n'y a pas d'avant-dune nette. Vers l'intérieur, de nombreux petits monticules sableux sans forme nette sont colonisés par la végétation (oyat ?)

- En 1968, la position des bunkers a peu changé par rapport à 1961. Les ouvrages sont en haut de plage. La casemate est accolée à la dune. La banquette intermédiaire entre la dune et la plage est bien développée, très continue, sans végétation. Une avant-dune est en formation mais reste très discontinue, entrecoupée par de nombreux couloirs et des espaces de sable nu. A l'intérieur des terres, le modelage par l'homme est impressionnant : comme en 1961, mais sur des surfaces plus étendues, on reconnaît le maillage de ganivelles, fascines ou filets associés aux plantations d'oyat.

- En mai 1974, la bande côtière a évolué : la banquette a disparu au sud des bunkers et les ouvrages sont tous sur la plage. Vers le nord (en bas de la photo) une petite avant-dune naissante est née en avant d'une dune un peu plus haute, plantée d'oyat. Elle se continue jusqu'à Merlimont-plage.

- En août 1983, la casemate est nettement décollée de la dune. *La position des bunkers est exactement la même qu'aujourd'hui, 30 ans après.* La banquette/avant-dune naissante a disparu de ce secteur (elle subsiste plus au nord) où la dune est taillée en falaise : le trait de côte a reculé assez nettement depuis 1968. La physionomie des dunes externes a également changé: la dune blanche à oyat s'est bien développée mais le maillage des plantations est encore visible. Un système de couloirs orientés SSE-NNW s'est mis en place associé à des pourrières (marquées P sur la photo). Une grande caoudeyre (ou cuvette de déflation) évolue en dune parabolique avec sa panne humide et à sa tête des sables mobiles (C sur la photo). D'autres cuvettes de déflation se sont formées plus à l'intérieur : le jeu naturel des dynamiques éolienne et végétale est en train de reprendre ses droits. Mais la menace anthropique sur cette « renaturation » forcée est là, sous la forme d'une piste destinée à l'entraînement des motards.

- En 2000, la situation n'a que faiblement évolué: le petit ouvrage le plus septentrional est décollé de la dune et repose sur la plage. Le système couloir-pourrière est net. La dune est taillée en falaise sableuse. Il faut souligner que le trait de côte actuel (en 2014) est en avant de celui de 2000.

Si l'on compare la position actuelle des cuves à canon, par rapport à 1944, le recul du trait de côte est de l'ordre de 35 à 40 m, ce qui fait 0,50 à 0,57 m par an en moyenne. Mais ce chiffre ne reflète pas l'évolution à long terme: le recul s'est opéré principalement après 1974, jusqu'en 2000, puis il a fait place à une réavancée du trait de côte, si bien qu'on retrouve aujourd'hui la situation de 1983. Le rapport du P.L.A.G.E (Plan Littoral d'Actions pour la Gestion de l'Erosion sur le littoral de la Côte d'Opale) publié en 2003 à l'initiative du Syndicat Mixte de la Côte d'Opale et de la Région Nord-Pas-de-Calais prévoyait un recul durable et la disparition partielle du champ de dunes. Or la plage de temps retenu (1974-2000) était trop courte pour être significative. Ces 26 années ont été marquées par une série de tempêtes conjuguées à de forts coefficients de marée qui ont provoqué un recul généralisé des côtes sableuses de la Côte d'Opale. Mais un retour à des conditions météo-marines beaucoup plus calmes ont complètement renversé la tendance, au moins jusqu'à l'hiver 2013-2014.

Une avant-dune née d'un forçage anthropique suivi d'un développement naturel

L'absence d'avant-dune au sud de Merlimont en 1944 a été vérifiée sur une photo de l'armée allemande retrouvée par Lanoy-Ratel (1998). Très discontinue, basse et étroite au sud de Merlimont en 1947 (mais présente au nord à cette date), elle s'esquisse en 1963 avec un alignement de dunes embryonnaires ou une banquette à agropyron. Les photos aériennes de la figure 8 montrent clairement qu'elle résulte d'un forçage anthropique dû à des ganivelles, fascines ou filets, complétés par des plantations d'oyat.

Bien établie en 1971, l'avant-dune s'est beaucoup exhaussée entre 1971 et 1976. Au lieu dit les « Douze parts », à la limite de Berck et de Merlimont, Lanoy-Ratel avait remarqué en 1994 un lit de boues de compostage provenant d'une usine de retraitement de déchets construite en 1969 et fermée en 1973. Cette couche noire épaisse de 2 cm était visible sur la falaise sableuse créée à cette date par la mer aux dépens de l'avant-dune. Elle prouvait qu'entre 1969 et 1994, le sommet de la dune s'était exhaussé de 3 à 4 m, chiffre corroboré par d'autres observations montrant que des éléments bétonnés de la 2^{ème} guerre mondiale étaient ensevelis sous 3 à 4 m de sable. Cette avant-dune est donc une création récente résultat de la conjonction des processus naturels et des interventions de l'homme. Actuellement, haute de 15 à plus de 25 m selon les secteurs, elle piège le sable soufflé par le vent depuis la plage et l'empêche de s'étaler vers l'arrière, sauf au débouché des couloirs et sifflevent où se forment des « pourrières ».



figure 9 : Suivi photographique du haut de plage en 2008 montrant la rapidité des changements morphologiques. En janvier, par marée de coefficient moyen, la dune se raccorde à la plage par une large concavité due à l'accumulation de sable par le vent. La laisse de mer est très éloignée du pied de dune. Le petit bunker au premier plan, sur la photo centrale, est à demi enterré. Le 15 mars, 4 jours après une forte tempête par marée de vive eau (coefficient 107), la mer a taillé une belle falaise dans le sable éolien. Le petit bunker est déchaussé. Mais 6 mois après, la falaise a disparu et le sable recouvre à nouveau la base du petit bunker (clichés : Y. Battiou-Queney).

II- La mobilité du trait de côte à court terme et la résilience du système plage-dune grâce aux échanges sédimentaires entre la plage et l'avant-dune

Sur le plage de Merlimont, comme sur toute la côte d'Opale, les changements morphologiques du haut de plage et de son contact avec l'avant-dune sont extrêmement rapides (figure 9). En prenant comme exemple le site des bunkers précédemment analysés, on voit qu'en l'espace de 9 mois, on est revenu à la situation d'origine, mais après être passé par un épisode tempétueux concrétisé par une falaise sableuse de plus d'un mètre de haut. Cela s'explique par la puissance des accumulations éoliennes en haut de plage résultant de la déflation sur un large estran de sable fin à marée basse.

Le vent soulève les grains de sable dès que sa vitesse atteint 6 m/s. Les volumes déplacés sont d'autant plus importants que la vitesse du vent est grande. Lors des grands coups de vent une couche de 2 à 3 cm peut être déblayée de la partie supérieure de l'estran au cours d'un unique cycle de marée. Ce sable va s'accumuler en haut de plage, pour former un prisme raccordé à la dune. Une partie du sable s'accumule sur le sommet de la dune, piégé par l'oyat. La dune évolue doublement : elle s'élargit vers la plage et elle s'exhausse légèrement. Le sable ainsi piégé est mis en réserve et réutilisable en cas de tempête. Lorsque la mer et la marée sont fortes simultanément, les vagues vont reprendre le sable accumulé en haut de plage et dans l'avant-dune et créer éventuellement une falaise sableuse. Le ressac et les courants de retour vont entraîner ce sable vers le bas de plage et l'avant-plage. Au final le budget sédimentaire du système plage-dune n'est pas affecté.



figure 10 : La plage nourrit la dune grâce à la déflation éolienne sur l'estran à marée basse; la dune nourrit la plage au moment des tempêtes.



figure 11 : Le contact plage-dune au nord de Merlimont 4 jours après une grosse tempête (15 mars 2008). Le vent a déjà commencé son œuvre d'ensevelissement de la petite falaise qui s'était créée (cliché : Y. Baltiau-Queney).

Ces transferts sédimentaires incessants sont la clé de l'équilibre et de la bonne santé des plages (figure 10). La dynamique éolienne est le facteur le plus important expliquant la résilience de ces systèmes plage-dune en régime macrotidal.

Ce mécanisme d'échanges sédimentaires est systématique tout le long de ce littoral sableux orienté Nord-Sud, donc perpendiculaire aux vents dominants de secteur ouest. Il fonctionne très bien partout où il n'y a pas d'obstacle entre plage et dune, comme au nord de Merlimont vers Stella (figure 11). Il est très efficace en raison de la puissance du vent, de la disponibilité en sable fin et de la largeur des surfaces d'envol.

III- Le fonctionnement d'un système plage-dune en absence d'avant-dune

Deux cas se présentent selon que l'absence d'avant-dune est naturelle ou résultant des interventions de l'homme.

Cas d'un système plage-dune naturel sans avant-dune

On a vu que c'était le cas du littoral au sud de Merlimont avant la deuxième guerre mondiale. Au moment des tempêtes à fort coefficient de marée, la mer entraînait profondément dans l'intérieur des terres grâce à de larges brèches (figure 12) et y abandonnait des sables marins, ensuite remaniés par le vent et transportés vers l'intérieur des terres.



figure 12 : Large brèche avec entrée de mer, sur la plage au sud de Merlimont en avril 1929. Les dunes sont basses avec une couverture végétale clairsemée. La mer a sapé le bas de la dune. Noter que la mer était beaucoup plus propre à cette époque : on ne voit pas tous ces déchets en plastique qui caractérisent aujourd'hui les entrées de mer dans les brèches (collection Paul Bardou).

Le système d'échanges plage-dune était donc différent de l'actuel et la résilience moins marquée. Néanmoins le trait de côte de 1935 ne semble pas avoir reculé sensiblement si l'on prend comme repère le front de mer de Merlimont datant des années 1910, ce qui montre que l'apport de sable depuis la mer et la plage compensait ces transferts vers l'intérieur des terres (figure 13).

On touche là une caractéristique importante de la Côte d'Opale : l'ampleur des ressources sédimentaires (sables principalement) dans les petits fonds au large de la côte, sous la forme de bancs pré-littoraux.



figure 13 : Cliché IGN, photo aérienne de 1935, montrant la lisière sud de Merlimont, menacée d'envahissement par le sable. Il n'y a pas d'avant-dune continue mais de vastes langues de sable progressant vers l'est. Le front de mer de Merlimont (visible à l'extrême nord) n'est qu'en très légère avancée par rapport au trait de côte plus au sud (source : Géoportail).

L'étude précise de la contribution de ces ressources dans le fonctionnement du système côtier reste à faire, mais plusieurs recherches en ont déjà montré l'importance (Tessier *et al.*, 1999 ; Anthony, 2000 ; Héquette *et al.*, 2013). Cette ressource sédimentaire en mer est d'autant plus précieuse qu'elle n'est plus renouvelée : elle est héritée de la dernière période froide, lorsque le niveau de la mer était à -120 m et que la Manche orientale exondée servait de réceptacle aux grands fleuves de l'Europe du nord-ouest (Rhin et Seine principalement).

Cas d'une avant-dune détruite par l'homme et remplacée par des ouvrages en dur (enrochement, digue-promenade, espace urbanisé)

Dans ce cas, la dynamique éolienne continue son œuvre, mais le sable, au lieu d'être mis en réserve dans l'avant-dune ou le haut de plage, est dispersé sur le front de mer, déblayé par l'homme et définitivement perdu pour le système côtier.

Le résultat, c'est que les vagues de tempête n'ont plus de stock de sable à leur disposition. Pour que le profil de la plage s'adapte aux nouvelles conditions hydrodynamiques créées par la tempête, le sable du haut de plage est prélevé par les vagues et redistribué vers le large, entraînant un abaissement sensible du niveau de la plage et l'augmentation de la tranche d'eau et donc de l'énergie des vagues déferlant au plus près de la digue: le mécanisme tend à s'aggraver.

Cette situation est observée à Merlimont au droit de la digue où un double constat peut être fait :

1) le long de la digue, la plage est étroite ou même inexistante à marée haute, même en marée moyenne de vive eau (figure 14) ; 2) le pied de la digue a tendance à s'affouiller lors des tempêtes, fragilisant l'édi-

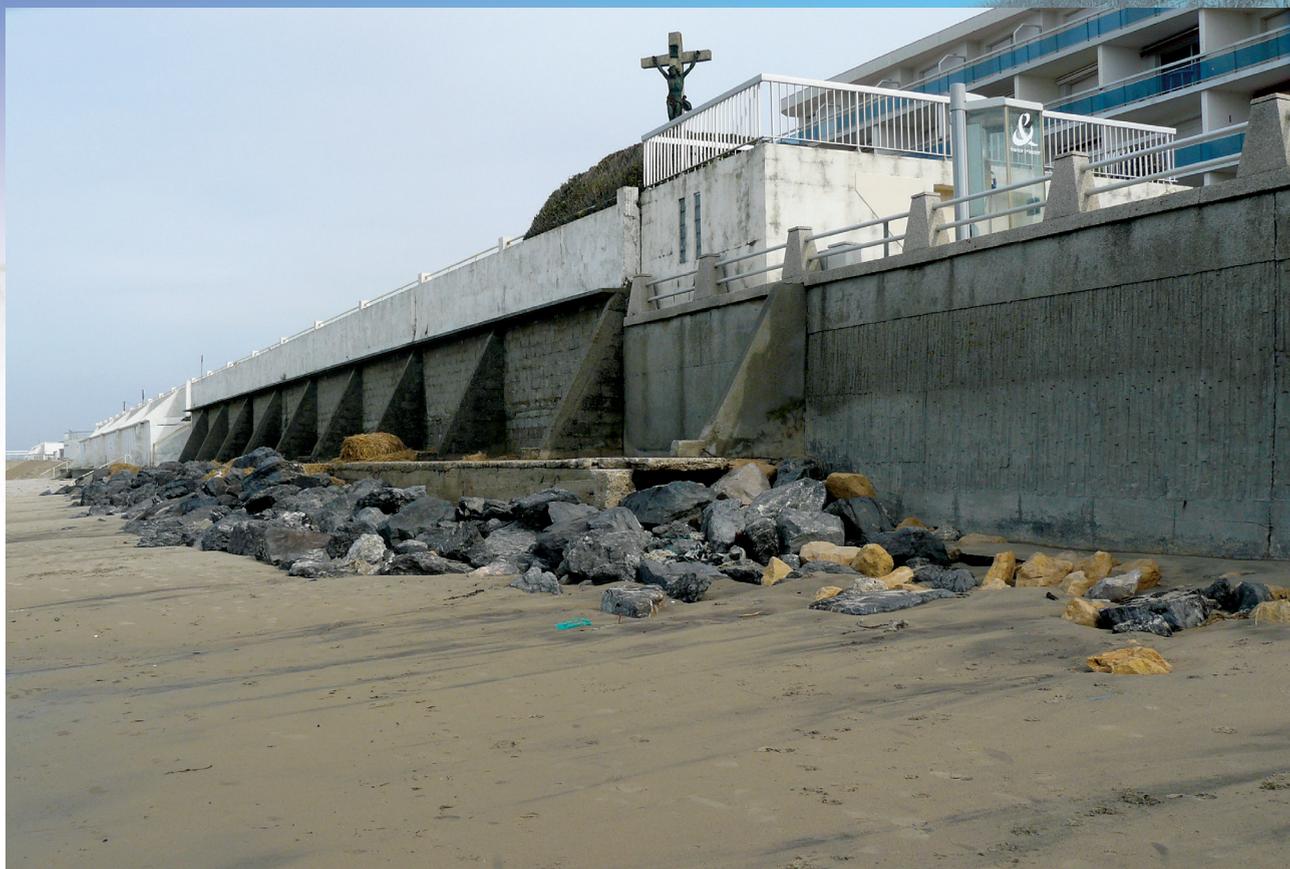


figure 14 : Sur la photo du haut, la digue de Merlimont en mars 2008 quatre jours après une tempête (marée à gros coefficient combinée avec une mer forte et des vents violents). La photo a été prise à marée basse. Le sable de la plage est humide et on reconnaît les traces de courants de retour perpendiculaires à la digue. Sur la photo du bas, même jour, à quelque centaines de mètres au sud, devant la base nautique, la dune est entaillée en falaise mais le sable de la plage est sec (le niveau de la plage est plus haut qu'au droit de la digue, clichés : Y. Battiau-Queney).



face. La verticalité de la digue de Merlimont accentue les phénomènes de turbulence et de réflexion qui renforcent les courants de retour vers le large.

Ce sont là des signaux indiquant une tendance érosive; or entre les estuaires de la Canche et de l'Authie ces signaux n'existent que là où une digue ou un enrochement est présent.

Comment pallier ces inconvénients ? Les épis installés dans les années 1980 n'étaient certainement pas la bonne réponse, car sur ces plages macrotidales les déplacements latéraux de sable se font en bas de plage et donc hors de portée des épis. Toute solution durable doit tenir compte de la dynamique marine mais aussi de la dynamique éolienne particulièrement efficace ici. Il faut trouver le moyen d'engraisser le haut de plage et d'y retenir le sable. L'engraisement du haut de plage peut être efficacement accéléré par un mécanisme de drainage du type ECOPLAGE®. C'est le procédé qui a été retenu par la mairie de Merlimont et installé en juin 2014 (Ballay, 2014). Des mesures d'accompagnement sont prévues pour retenir le sable sur la plage et éviter son envol sur le front de mer. Tous les épis (sauf un qui sert à l'évacuation des eaux pluviales) ont été démantelés parallèlement à l'installation du système de drainage, de façon à compléter la réhabilitation de la plage.

siècle. A partir du début du 20^e siècle les documents photographiques (au sol puis aériens) donnent une vision plus précise de l'évolution des paysages et des formes dunaires. Les restes du Mur de l'Atlantique et les missions aériennes de l'IGN, de 1947 à nos jours, sont des sources d'information essentielles sur la mobilité du trait de côte et les transformations radicales du système dunaire dans les années qui ont suivi la guerre. Le fait le plus important est la naissance d'une avant-dune continue entre Merlimont et Berck, qui met fin à l'extrême mobilité des grandes dunes blanches transgressives qui s'alimentaient directement depuis la plage. Si les processus naturels (une puissante dynamique éolienne capable de remobiliser une abondante ressource en sable) sont essentiels, les photos aériennes montrent clairement l'importance des interventions humaines dans les premières étapes de la naissance de l'avant-dune.

La dynamique éolienne et l'avant-dune qu'elle a contribué à créer et qu'elle continue à alimenter depuis la plage expliquent la remarquable résilience de ce système côtier macrotidal. L'analyse du fonctionnement morpho-sédimentaire du couple dune-plage permet de bien comprendre, a contrario, les problèmes de démaigrissement de la plage quand l'avant-dune est détruite.

Conclusion

Grâce à la richesse des archives (cartes et documents divers) il est possible de reconstituer les grandes tendances évolutives des dunes de Merlimont-Berck et du trait de côte depuis le 18^e

Références bibliographiques

- Anthony E., 2000.** Marine sand supply and Holocene coastal sedimentation in northern France between the Somme estuary and Belgium. In Pye K, Allen JRL, (eds), *Coastal and Estuarine Environments*; Geol. Soc. London Spec. Publ., 175, p. 87-97.
- Battiau-Queney Y., 2007.** La réserve biologique domaniale de la Côte d'Opale : une exceptionnelle diversité de formes dunaires. *Rendez-vous techniques (ONF)*, 17, p. 35-39.
- Battiau-Queney Y., 2014.** Les plages de la Côte d'Opale. Maîtriser la nature ou agir avec elle? *Dynamiques environnementales*, LGPA Editions, Université Bordeaux 3, vol. 30, p. 89-104.
- Battiau-Queney Y., Dermaux B., Favennec J., Veillé F., 2014.** Merlimont-plage (north of France): an exemplary management of coastal dunes in a temperate environment, *Dynamiques environnementales*, n°33, LGPA-Éditions/Presses Universitaires de Bordeaux.
- Briquet A., 1930.** *Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique*, Paris, Colin, 439 p.
- Lanoy-Ratel P., 1998.** *Bunker archéologie, photo-interprétation et photo-comparaison appliquées à l'étude du littoral Nord-Pas-de-Calais*. Espace Naturel Régional / OELM, Wimereux, rapport interne, 113 p.
- Lanoy-Ratel P., 2004.** La bunker archéologie: principes et études de cas sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais. *Bull. Association de Géographes Français*, 81, p.405-417.
- Tessier B., Corbau C., Chamley H., Auffret J-P, 1999.** Internal structure of shoreface banks revealed by high resolution seismic reflection in a macrotidal environment. *J. Coast. Res.* 15, p. 593-606.
- Vinchon C, avec la collaboration de Gourry J.C , Farjanel G, Hervieux D., Van Vliet Lanoe, Baeteman C., 2000.** Evolution Géologique du système côtier picard entre Berck et Merlimont (62) au Quaternaire. Scénarios géoprospectifs de l'évolution dunaire *Rap BRGM/RP-500039* Fr 23 fig. 3 tabl. 2 ann.