

MÉMOIRE.

Morphologie éolienne littorale entre Nieuport et la frontière française

par M. A. Lefèvre.

De l'embouchure de l'Yser à Bray-Dunes, sur une quinzaine de kilomètres, la côte se termine par un complexe dunal groupant une grande variété de formes éoliennes littorales. Sous certaines conditions météorologiques saisonnières favorables, il s'y développe même des dunes désertiques élémentaires.

Le terrain est connu; il a été analysé à diverses reprises dans des travaux régionaux et à l'occasion d'études générales sur l'accumulation éolienne au bord de la mer (1). Toutefois on manque de vues d'ensemble et d'observations systématiques sur les relations qui existent entre l'aspect et l'allure locale de ces dunes, le régime des vents et des pluies et l'orientation du rivage dans l'axe des vents dominants. Grâce à des observations saisonnières, faites pendant plusieurs années, nous croyons pouvoir compléter les connaissances antérieures et y apporter certaines précisions.

Dans son ouvrage remarquable sur «Le littoral du Nord de la France»(2), M. Briquet explique comment le long du rivage qui va de Dunkerque à Nieuport, soumis actuellement à l'abrasion marine, le courant littoral subit de légères déviations latérales. Après avoir serré le rivage de près sur une certaine distance, il s'en éloigne ensuite, repoussé vers le large. Il s'établit de la sorte des zones d'abrasion alternant avec des zones où

(1) R. Blanchard. *La Flandre*. Paris, A. Colin, 1906, pp. 217-224.

A. Briquet. *Les Dunes littorales*. Ann. de Géographie, T. XXXII, Paris, 1923, pp. 385-394.

E. Rahir. *Au pays des grandes dunes*. Bruxelles, Touring Club de Belgique, 1928.

(2) A. Briquet. *Le littoral du Nord de la France*. Orléans, Imprimerie Tesser, 1930, p. 338 et ss.

L'action des vagues est faible ou nulle, laissant à découvert un estran favorable au développement de dunes. Ce double mouvement d'avancée et de recul du rivage se produit actuellement à l'ouest de l'embouchure de l'Yser ; le point d'inflexion du courant est à La Panne. Au Nord-Est de la station balnéaire, des dunes bordières récentes sont tranchées, par les vagues, en paroi verticale de 1 mètre à 2 mètres de haut. Au Sud-Ouest, au contraire, la grève en progression vers la mer est un lieu d'accumulation. Ici-même, au Moyen-âge encore, la mer taillait d'anciennes dunes en falaise contre laquelle sont adossées les formations actuelles. Par étapes, périodes de destruction interrompant des périodes de construction, suivant le rythme des oscillations du rivage, les vents ont édifié et ensuite modelé ce relief fantasque, parc naturel d'un réel pittoresque, mais aussi digue puissante, haute d'une trentaine de mètres et large de plus de deux kilomètres par endroits. On y distingue trois systèmes de dunes d'âges et d'aspects différents : 1) des dunes récentes, dunes embryonnaires et dunes bordières ou avant-dune ; 2) des anciennes dunes partiellement fixées et en voie de remaniement ; 3) des dunes très anciennes profondément bouleversées et éventrées, entièrement fixées par la végétation et occupées par l'homme (1). Dans leurs traits structuraux ces trois systèmes sont parallèles entre eux et parallèles au rivage. Il y a plus d'imprévu dans le détail des formes de déflation, et leurs arrangements variés composent des physionomies profondément originales.

DUNES RÉCENTES.

On les voit à l'état le plus net à l'Ouest de La Panne où elles se forment sous les yeux de l'observateur. Au pied d'une falaise sableuse, hors d'atteinte des marées de vives eaux, sur une largeur de 10 mètres à 15 mètres environ, de petites croupes se relaient en un relief moutonné. (Pl. I). Les plus élevés de ces monticules, les plus éloignés de la mer, ne dépassent guère 3 mètres de haut ; les sommets sont garnis de touffes de graminées, l'oyat psammophile propre aux plages sableuses. C'est un complexe de dunes bordières littorales ou avant-dune, observées et décrites maintes fois en divers pays. Une première vue laisse une im-

(1) Le village d'Adinkerke est bâti sur une quatrième ligne de dunes, îlot sableux au milieu des polders, auquel le cordon littoral de Ghyvelde sert de fondement. Le relief éolien y est totalement effacé.

pression de désordre. On y cherche, en vain, les schémas classiques : amas linguiformes au profil dissymétrique, perpendiculaire au rivage, en pente douce au vent vers la mer, en talus du côté opposé ; ou encore chaînes de dunes en vagues, caractéristiques des landes de Gascogne, aux crêtes sinueuses, parallèles à la côte, le transport des sables de l'estran et leur dépôt étant supposés l'œuvre des vents du large (1). Toutes ces directions axiales paraissent faussées ici et les dunes transversales en vagues n'existent pas. Pour remonter aux causes de ces particularités locales il faut partir de la forme simple, de la dune embryonnaire isolée, stade initial de l'évolution du complexe d'accumulation.

Dunes embryonnaires isolées.

Sur la grève, à quelques pieds de la laisse de haute mer et, mieux encore, sur les surfaces balayées des dunes anciennes, les vents trouvent des conditions exceptionnellement propices au transport des sables secs et à leur accumulation. Des amas linguiformes s'y développent ;

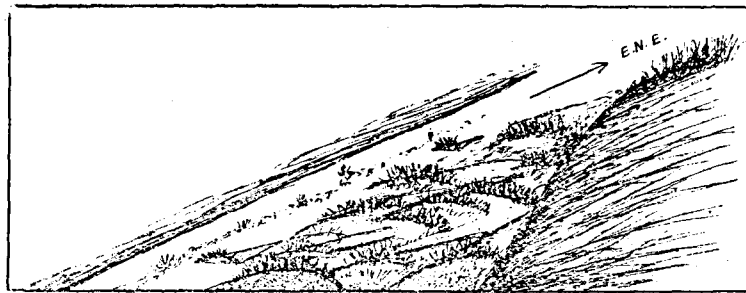


Fig. 1. — Schéma de la formation des dunes bordières par vents W. S. W., parallèles au rivage.
Laisse de haute mer ; dunes embryonnaires isolées ; avant-dune contre falaise de dunes anciennes.

leur profil dissymétrique est orienté Est-Nord-Est, — Ouest-Sud-Ouest, ou plus exactement il oscille entre Ouest à Ouest 40 degrés Sud. C'est aussi l'orientation du rivage (Fig. 1).

On admet que l'axe longitudinal des dunes est dans la direction du

(1) E. de Martonne. *Traité de Géographie Physique*, T. II, 4^{me} éd., 1926, Paris, A. Colin, p. 955.

TABLEAU I.
RÉGIME DES VENTS AU LITTORAL
D'APRÈS LES ENREGISTREMENTS DE STAT. MÉTÉOR. D'OSTENDE

A. Nombre des observations horaires à raison de deux, trois ou quatre par jour.
B. Pourcentage des différentes directions du vent.
C. Nombre de vents forts, (de 8 mètres à 13, 8 mètres par seconde).
D. Nombre de vents très forts, (de plus de 13, 8 mètres par seconde).

	1928 HIVER				PRINTEMPS				ÉTÉ				AUTOMNE			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
N	—	—			20	14,3	3		8	5,6	1		5	3,5	3	
NE	9	7,2	2		12	9	3		4	2,6			7	5,1	1	1
E	24	19,2	2		13	9,2	3		10	7	4		16	11,5	2	
SE	10	8,1	1		38	27,1	9	1	5	3,5			12	9	2	
S	22	18	5		17	12,1	4	1	13	9			35	25,3	13	1
SW	43	34,6	9	10	9	6,2	3		50	34,5	14	6	31	22,6	13	4
W	14	11,3	3	3	11	8	7		39	27,1	8		17	12,3	6	6
NW	2	1,6		1	20	14,1	2		15	10,7			15	10,7	4	3
	124	100			140	100			144	100			138	100		

	1929 HIVER				PRINTEMPS				ÉTÉ				AUTOMNE			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
N	9	4,2	1	1	35	17	5		28	11,6	1		5	3,5	1	
NE	39	18,2	3		47	22,8	11		14	5,7	2		9	6,3	1	
E	40	18,6	6		14	6,8			12	4,9	1		8	5,6	1	
SE	35	16,8	3		7	3,4	2		15	6,3	1		16	11,2	1	
S	33	15,4	3		15	7,3	2		17	7	1		29	20,5	3	4
SW	23	10,7	3	1	26	12,6	5	1	85	35,1	25	9	36	26,1	6	3
W	19	8,7	4		32	15,6	3		32	13,2	2		21	14,8	5	1
NW	16	7,4	2		30	14,5	2		39	16,2	3		17	12	5	
	214	100			206	100			242	100			141	100		

	1930 HIVER				PRINTEMPS				ÉTÉ				AUTOMNE			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
N	3	1,6			35	16	9	4	30	12,9	5		10	4,2		
NE	25	14,2	4	2	20	9,2	3	1	26	11,3	1		25	10,7	1	
E	15	8,2	1	1	12	5,4	1	1	9	3,9			13	5,6	1	
SE	30	16,3	2	2	17	7,7		1	13	5,5	1	1	13	5,6	2	
S	58	31,8	4	5	18	8,3	1		34	14,3	1	1	42	17,8	3	4
SW	33	18,1	5	5	40	18,3	7		82	35,3	23	10	72	30,6	15	14
W	12	6,5	2	7	40	18,3	4	1	26	11,3	3	2	49	20,8	12	11
NW	6	3,3	4		37	16,8	7	3	13	5,5			11	4,7	2	
	182	100			219	100			233	100			235	100		

Ce tableau est établi par dépouillement des cartes quotidiennes du temps publiées par l'Institut météorologique.

vent constructeur (1). Dans ces conditions les dunes de La Panne sont l'œuvre de vents à peu près parallèles au rivage, et non pas de vents soufflant perpendiculairement à la côte, comme c'est le cas pour la plupart des dunes littorales. Depuis trois ans, le poste météorologique d'Ostende dispose d'enregistreurs de vents. Quoique les statistiques portent sur une période relativement courte les résultats des observations bihoraires, souvent trihoraires, publiés dans les Bulletins de l'Institut Météorologique d'Uccle, nous renseignent suffisamment sur l'allure générale des courants atmosphériques le long de la côte. Les chiffres de la fréquence et de la violence des vents à la côte sont groupés dans le tableau I, dressé par périodes saisonnières. Les variations climatiques saisonnières : humidité, chaleur, durée d'insolation, etc., ont en effet de profondes répercussions sur le processus dunal. Ce premier tableau est complété par le tableau II indiquant la répartition moyenne des différentes directions des vents enregistrées par l'Observatoire d'Uccle pendant plusieurs périodes décennales ; ces chiffres s'appliquent dans une certaine mesure au littoral (2). Les tableaux montrent clairement

TABLEAU II.

RÉPARTITION MOYENNE DES DIFFÉRENTES
DIRECTIONS DU VENT A UCCLE
EN P. C. DES OBSERVATIONS BIHORAIRE

N. 5.8%	S. 16.0%
NE. 11.8	SW. 21.7
E. 10.6	W. 14.8
SE. 9.4	NW. 6.2

que les vents dominants sont ceux du Sud-Ouest à Ouest ; ce sont en même temps les vents les plus violents. Ce régime ne diffère pas de celui qui règne sur la plupart des côtes européennes atlantiques. Mais tandis que presque partout les vents soufflent de la mer et recourent le rivage sous un angle droit, le long du littoral belge, en raison de son

(1) E. et J. Harlé. *Mémoire sur les dunes de Gascogne*. Bulletin de la section de Géographie (Paris), Imprimerie Nationale, 1919.

P. Gerhaerdts. *Handbuch der deutschen Dünenbau*, Berlin, P. Parey, p. 50 et ss.

(2) Ces renseignements nous ont été obligeamment fournis par Monsieur le Directeur de l'Institut Royal Météorologique de Belgique. Nous lui en exprimons toute notre gratitude.

orientation générale Ouest-Sud-Ouest — Est-Nord-Est, ils avancent dans le sens de la côte et alignent les amas sableux suivant cette direction, c'est-à-dire en profils parallèles au rivage (Fig. 2).

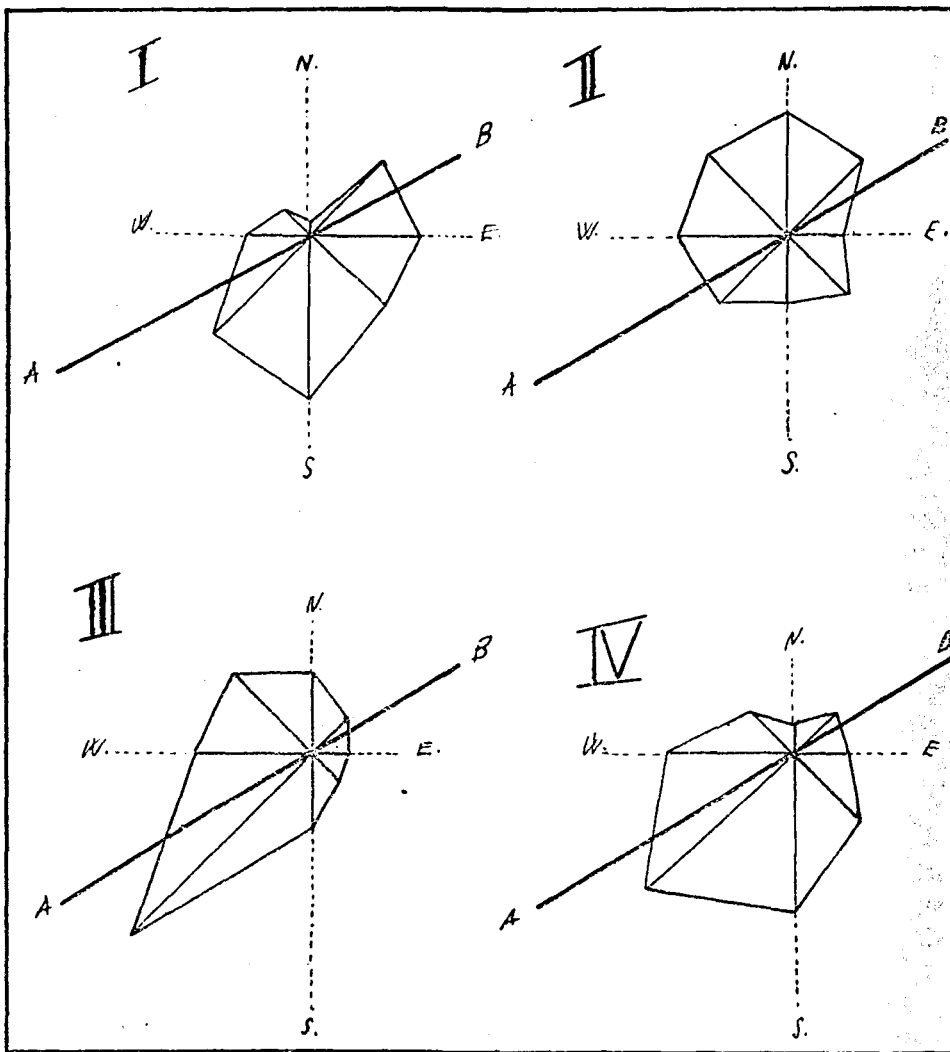


Fig. 2. — Polygones des vents à Ostende, d'après la répartition moyenne des différentes directions du vent en p. c. des observations bihoraires pendant trois ans. I — hiver, II — printemps, III — été, IV — automne ; A — B direction du rivage.

L'orientation de ces profils oppose à première vue un démenti à l'action des vents d'Ouest ou Sud-Ouest, si l'on admet que les accumulations sableuses se forment toujours en avant d'un obstacle, en pente douce au vent, en talus sous le vent. Dans ces conditions les dunes embryonnaires du littoral belge seraient des dépôts de vents du Nord-Est, puisqu'elles sont toutes en pente douce dans cette direction. De plus les vents du Nord-Est arrivent, en pourcentage de fréquence, immédiatement après les vents du Sud-Ouest et avant les vents du Nord et du Nord-Ouest qui soufflent de la mer du Nord. Ceci ferait croire à une concurrence entre vents de même direction mais de sens contraire. M. Blanchard avait insisté déjà sur la concurrence entre vents de directions diverses, à l'avantage de ceux du Sud-Ouest ; il leur avait attribué l'irrégularité des dunes de Flandre comparées aux dunes classiques de Gascogne (1).

De l'examen des valeurs saisonnières de la fréquence et de la violence des vents à la côte, la prépondérance de l'activité des vents d'Ouest-Sud-Ouest ressort néanmoins indiscutablement. Il est à peine besoin de rappeler que le travail éolien est le plus efficace en été, lorsque d'épaisses couches de sables secs libèrent de grandes quantités de matériaux pour le transport. Or c'est pendant les mois de juin, juillet et août que les vents atlantiques surpassent de loin les vents de toutes les autres directions. (Fig. 2). Les dunes embryonnaires sont, à n'en pas douter, leur œuvre. Ce qui paraît, à priori, un profil dunal inversé : abrupt au vent, pente douce sous le vent, est un fait indépendant de l'action éolienne. En effet si la cause essentielle de la dune est le vent, agent de transport, son profil est avant tout fonction du mode d'arrêt des sables en mouvement : obstacles de diverses natures ou surfaces de friction. Selon que l'obstacle est imperméable au vent, perméable et flexible ou perméable et rigide, l'accumulation ne s'effectue pas de la même manière (2). Dans le cas d'un écran perméable au vent et flexible, comme le sont les touffes d'oyat sur le littoral belge, le vent traverse l'obstacle ; par frottement et aussi par pression sur les feuilles sa vitesse est réduite et une partie des matériaux tenus en suspension tombent derrière l'obstacle (Pl. I-A).

Le développement de la dune est lié à l'existence de l'oyat. Celui-ci apparaît d'abord sporadiquement sur les petits tas de sable que le vent incruste dans des débris de coquillage et dans les laisses de haute mer que n'atteignent plus les marées. Si la plante reste hors d'atteinte de

(1) R. Blanchard. *Op. cit.*, pp. 220 et 221.

(2) P. Gerhaardt. *Op. cit.*, p. 328.

l'eau marine et que le vent lui apporte sans cesse du sable frais, sa vie végétative est assurée en même temps que la croissance de la dune embryonnaire. Tandis que la tête de la dune gagne en hauteur dominée par l'oyat qui s'élève progressivement, le corps s'allonge. Dans ce stade le profil est trapézoïdal (Fig. 3) : un talus abrupt au vent et, sous le vent,

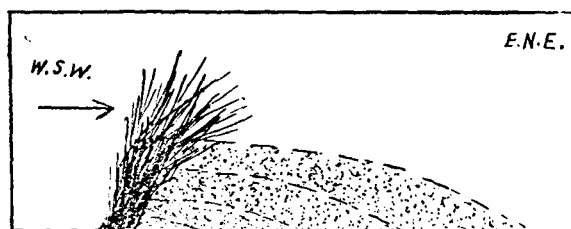


Fig. 3. — Schéma de dune embryonnaire derrière un obstacle perméable et flexible.
Le profil est dissymétrique, en abrupt au vent, en pente douce sous le vent.

une crête horizontale, correspondant à la zone d'alimentation, prolongée par une pente douce qui est le profil de glissement des grains de sable. Cette forme simple ne peut se maintenir longtemps ; à mesure que la dune embryonnaire grandit elle devient elle-même un obstacle imperméable, en avant duquel une accumulation se fait en pente douce au vent (Pl. III-C). En outre, les vents qui frôlent latéralement la dune abandonnent également des sédiments sur les côtés. Ainsi le processus d'accumulation et les formes qui en résultent se modifient et se compliquent au cours de l'évolution ; la structure primitive reste souvent, malgré ces déformations, plus ou moins apparente.

Les dunes embryonnaires isolées sont bien représentées sur le littoral de la Flandre et plus spécialement sur les surfaces plates des dunes anciennes où rien ne contrarie le déplacement des courants atmosphériques, où le sable est en abondance sur les grands espaces nus et où l'oyat ne craint plus les atteintes de l'eau de mer. C'est là qu'on trouve les formes les plus pures (Pl. V-C). Sur l'estran, les dunes embryonnaires sont moins individualisées, soudées les unes aux autres en dune bordière ce qui leur fait perdre leur régularité originelle.

Dunes bordières ou avant-dune.

Comme une ruée de vagues en débandade, telle apparaît la plus récente extension dunale encore en plein accroissement. Le regard s'atta-

che cependant à des lignes sombres qui se répètent dans un ordre apparent, ce sont des crinières d'oyat (Pl. I-B). On y reconnaît les sommets de dunes embryonnaires, ce qui conduit sans peine à reconstituer l'évolution du système de l'avant-dune. En avant d'une falaise délaissée par les flots un premier cordon d'amas linguiformes s'est formé, étroitement adossé à l'ancienne dune ou séparé d'elle par un sillon. Sur l'estran, en gain, le premier cordon fut suivi d'une série d'autres cordons. Les monticules alignés, d'un même stade, se sont rejoints bout à bout, de crête à queue, en des enchaînements longitudinaux tandis que les rangées successives, grâce à un recul lent et régulier de la mer, se soudaient les unes aux autres. Ces raccords transversaux ne s'effectuèrent pas toujours de crête à crête ; celles-ci se chevauchent, buttent sur les flancs voisins, de sorte que les conditions normales de dépôt sont quelquefois contrariées. Il en résulte non seulement une apparence de désordre, mais un pêle-mêle confus de creux et de saillies, rayés par des lignes de végétation, traçant un angle droit avec la direction du rivage. L'oyat stabilise le mieux les traits originaux. Par un jeu d'action et de réaction la plante qui se fixe sur les sommets des talus contribue à leur maintien et à leur élévation. Au parallélisme structural de la dune bordière, ces écrans de feuilles enroulées opposent un striage perpendiculaire. Le profil du début n'apparaît guère dans ce complexe si ce n'est sur sa face externe où les derniers dépôts n'ont pas encore subi une forte contrainte de voisinage. Axes et profils dissymétriques y sont encore nets. Prolongés ils recoupent la ligne de rivage sous un angle plus grand que l'écart mesuré entre la direction du littoral et le profil des dunes isolées de l'intérieur. Contre la muraille d'abrasion et au contact avec les dunes modernes, les vents de la grève sont plus déviés de leur direction océanique que ceux qui soufflent sur les surfaces libres et ouvertes des hautes dunes.

Les vents violents de directions autres que celles des vents dominants, doivent, semble-t-il, abîmer plus ou moins profondément les traits originaux ; les vents du Nord-Est renfonceraient le renflement des dunes tout en déformant leur profil ; les vents du Nord-Ouest au contraire auraient une action destructrice. Nous n'avons rien relevé de précis quant à ces influences secondaires.

L'avant-dune disparaît sous les villas de La Panne ; lorsqu'elle réapparaît à l'extrémité Nord-Est de la digue elle n'a plus tout à fait les mêmes caractères. Le courant littoral en se rapprochant de la côte est en train de démolir l'œuvre d'hier. Une muraille de 2 mètres de haut,

dans laquelle les brèches sont rares, se poursuit jusque près de Nieuport. Ce qui subsiste de l'avant-dune, une plate-forme étroite, a cessé de s'élever, faute de matériaux ; sur l'estran rétréci, recouvert par chaque marée haute, les vents ne trouvent plus guère de sables à déplacer ni à emporter.

La dune bordière, en son état le plus représentatif à l'Ouest de La Panne, est un relief d'amoncellement très jeune, actuel. Sa hauteur augmente de la mer vers l'intérieur, l'épaisseur des dépôts, à cause de la faible largeur du complexe, étant en raison de la durée de l'accumulation. Ce qui distingue ces dunes de la plupart des autres dunes littorales, c'est le parallélisme des directions axiales majeures avec le rivage ; leur évolution reste toutefois conforme aux lois connues de l'accumulation éolienne. Les vents dominants constructeurs sont bien des vents du large, venant de l'Atlantique et non pas de la Mer du Nord. Sur presque toutes les côtes européennes ces vents recoupent la ligne de rivage sous un angle droit ; sur le littoral belge exceptionnellement, à cause de sa direction, l'estran est dans le sens de ces vents (Fig. 2). Cette coïncidence règle toute l'ordonnance des dunes : formation de dunes embryonnaires, chacune, individuellement, un peu oblique au rivage (1), qui se réunissent en cordons dunaux successifs disposés suivant la côte ; absence de grandes dunes transversales, en vagues, qui ne se développent que face à la mer en avant de courants atmosphériques à large front. Les mêmes conditions commandent aussi le plan de remaniement des anciennes dunes.

DUNES ANCIENNES EN VOIE DE REMANIEMENT.

En arrière des dunes bordières, les dominant de 20 mètres à 30 mètres, un système dunal plus ancien, daté par la mise au jour de stations romaines, peut-être même de foyers préhistoriques (2), couvre une largeur de près de deux kilomètres. Les formations récentes paraissent confuses ; les dunes anciennes sont un véritable chaos. Crêtes dentelées, creux en cuvettes et sillons allongés, dépressions envahies par une végétation

(1) En passant de la mer sur la terre les courants atmosphériques subissent une déviation ; à notre connaissance on n'a pas encore mesuré ces déviations sur le littoral belge.

(2) E. Rahir. *La Panne*. Fabrication de poteries. Habitats et sculptures de l'âge du fer. Bruxelles, Dijkmans, 1930.

épineuse et touffue, grandes surfaces chauves, monticules de sables frais couronnés d'oyats vigoureux, chicots de dunes déchaussées supportant la trame effilochée de l'ancien tapis végétal, le tout entremêlé, bousculé et comme malmené par des forces aveugles. Paysage étrange dont on se laisse pénétrer d'abord par l'âpre et farouche beauté avant de chercher à en démêler les origines.

A cause de la couverture végétale, à cause surtout du remaniement intense, les traits de jeunesse sont effacés. Pendant une période de stabilité l'association végétale s'est enrichie ; des argousiers, des saules rampants, des sureaux, des carex des sables, des chardons bleus, des mousses, des lichens ont pris place à côté de l'oyat et l'ont souvent repoussé (1). De nos jours ces dunes sont sans défense contre les courants atmosphériques qui les rongent et les minent impitoyablement. L'offensive est exclusivement menée par les vents sans aucune intervention marine vu la présence de la dune bordière.

Au monticule sableux, forme simple de l'accumulation, s'oppose le creux, forme élémentaire du remaniement. Et de même que la dune embryonnaire se transforme et change de physionomie aux différentes phases de son évolution, ou bien parce que les conditions locales introduisent des perturbations dans le mécanisme ordinaire de l'accumulation, de même aussi les creux, par leur ampleur, par leurs contours plus ou moins réguliers, par leur densité et par leur rapprochement créent des paysages variés. Presque toujours, et plus spécialement au stade de maturité, les formes de destruction s'accompagnent de formes d'accumulation, autre élément de nombreuses variétés locales de la dune remaniée.

Formes de destruction.

La cuvette de creusement éolien, la *caoudeyre* des dunes de Gascogne (2), la *Windmâlde* des côtes allemandes, est largement représentée ici et accuse en général un type très pur (Pl. II-A et B). On en peut suivre parfaitement les états successifs de l'évolution, depuis le simple creux en nid de poule, trouant à peine le tapis végétal, jusqu'à l'énorme

(1) A. Briquet. *Les dunes littorales*, op. cit., p. 388.

(2) Le mot « caoudeyre » a été proposé par J. Harlé, op. cit., p. 15, pour désigner les cuvettes d'érosion éolienne. Sur la côte de Gascogne, où ces formes sont très développées, *caoudeyre* (signifie *marmite*) est employée par les gens du pays pour désigner les excavations dans les dunes.

cuvette ovale de plus de cent mètres d'ouverture, au fond plat noyé dans une mare que les étés n'assèchent pas toujours (Pl. II-B). Cette forme d'érosion est connue depuis longtemps. Lorsque sur de vieilles dunes fixées la destruction de la végétation met à nu l'épiderme sableux, le vent aussitôt s'acharne sur ces points vulnérables et les creuse en niches. Dès qu'un creux est ouvert il s'approfondit et tend vers la forme en cuvette allongée ; des flancs escarpés s'élèvent sous le vent jusqu'à la tête de la caoudeyre. Le pourtour est en festons capricieux et aérés d'où pendent, en un sombre chevelu sous lequel s'exalte l'or clair des sables dénudés, les racines mortes de la couverture végétale.

Mécanisme.

On s'est figuré quelquefois la caoudeyre comme due à la fois au creusement et à l'accumulation : un fond plat balayé et nettoyé, entouré de talus de déblais. Lorsque des remblais existent, et toutes les caoudeyres n'en ont pas, ils se localisent sur le sommet de la cuvette, sous forme de dunes embryonnaires au profil dissymétrique, crêtées d'oyat. (Pl. III-B). Sur les branches latérales de la cuvette, il n'y a pas trace de dépôts récents. S'il y avait eu rejet, sur les côtés, du sable remis en mouvement, l'ancienne surface et sa couverture végétale devraient être enfouies sous des déblais de plus en plus épais vers le noyau de la cuvette. Or, lorsqu'on suit la trace du sol végétal vers le haut de la caoudeyre, on le voit remonter jusqu'au sommet où il supporte les jeunes dunes, épaisses seulement de quelques centimètres. Les pentes de la cuvette éolienne sont en réalité des talus d'érosion et la caoudeyre est essentiellement une forme de destruction. On est peu renseigné sur le mécanisme de cette érosion. Il est à remarquer que les creux s'ouvrent presque toujours sur une surface inclinée et vers le bas de la pente. Les hauts sommets des dunes fixées, les plus exposés semble-t-il aux attaques des vents, ne sont pas atteints au début. En reconstituant la surface, au-dessus de la cuvette, tangente à ses bords, on reconstitue généralement la trace d'un plan incliné sur l'horizontale.

L'idée d'attribuer à des mouvements tourbillonnaires des courants atmosphériques, supposés devoir se produire lorsque des couches d'air horizontales rencontrent un obstacle en plan incliné, le mécanisme du creusement éolien est une des premières hypothèses qui se présente à l'esprit. Longtemps les observations manquèrent pour permettre une interprétation basée sur les faits. Un récent ouvrage sur la « Météorologie

du Relief Terrestre » (1) fournit les données essentielles du problème. Grâce à des observations nombreuses et précises, on a constaté qu'il se produit au vent d'une montagne ou d'un obstacle, mur ou dune, un « mouvement tourbillonnaire fixé à axe horizontal dont la branche inférieure

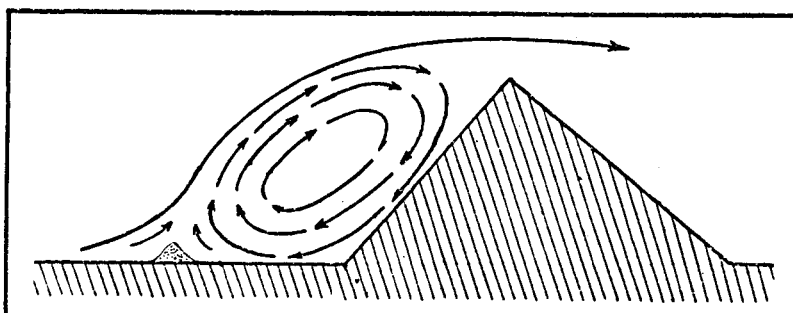


Fig. 4. — Tourbillon stationnaire, au vent d'un obstacle. D'après A. Baldit, fig. 56.

descend le long des flancs de la montagne et dont la branche supérieure cotoie le courant général en ayant le même sens que lui » (Fig. 4) (2). Quand des tourbillons de cette espèce entrent en friction avec une dune en pente où le sable est à nu, une niche ne doit pas tarder à s'ébaucher (Fig. 5).

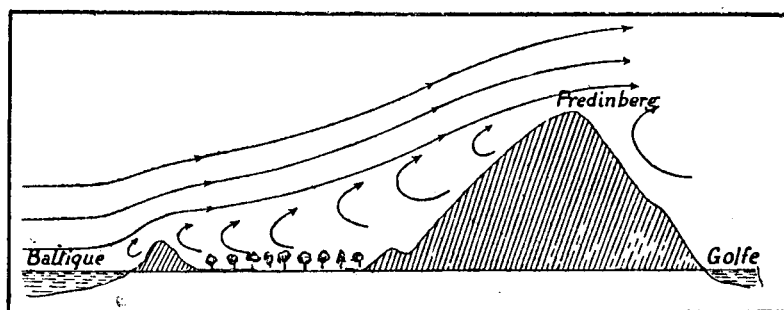


Fig. 5. — Ascendance du vent sur les dunes de Courlande. D'après A. Baldit, fig. 68.

Lorsque la cuvette aura atteint un certain développement, le glissement des sables sur les talus se combinera avec les effets du vent. Le creuse-

(1) A. Baldit. *Météorologie du relief terrestre. Vents et nuages*. Paris, Gauthier-Villars et Co, 1929.

(2) A. Baldit. *Op. cit.*, p. 138.

ment suppose en outre un déplacement ou un transport des matériaux libérés. Au début de l'érosion, les sables encore peu abondants et à fleur de sol sont pour une part incorporés au courant normal et entraînés à faible distance de leur point de départ. Mais quand au creux aura succédé une vaste cuvette, quand les sables en masse glisseront sur des talus de 10 à 20 mètr., il n'y aura plus qu'une quantité infime de matériaux que le mouvement tourbillonnaire horizontal fera passer dans le courant libre. Il faut qu'intervienne à ce moment une force capable d'enlever les matériaux du fond du creux en un mouvement ascensionnel de plusieurs mètres : « *aux tourbillons à axe horizontal formés dans l'air lorsqu'il est dévié vers le haut (d'une montagne ou d'un obstacle) correspondent des tourbillons à axe vertical lorsque l'air est détourné et longe un obstacle en restant horizontal. Par conséquent, dans un tel courant atmosphérique, on rencontrera au vent de l'obstacle un tourbillon stationnaire à axe vertical* » (1). Ces mouvements tourbillonnaires lorsqu'ils sont favorisés par les conditions météorologiques peuvent dégénérer en tornade, capable, assurément, de soulever des grains de sable à plusieurs mètres du sol, où les courants laminaires s'en emparent. Le fond de la cuvette reste encombré de matériaux lourds, sables grossiers, gravier et débris de coquillage, qui échappent au mouvement vertical. On voit parfois ces débris animés d'un mouvement de rotation correspondant au tourbillon vertical (2). Les mouvements verticaux naissent de préférence sur les flancs de l'obstacle où il y a tendance à la déviation horizontale. Ainsi s'explique l'épanouissement des creux en largeur ; aux extrémités du tourbillon à axe horizontal qui stationne vers le milieu de l'obstacle et qui fait progresser le sommet de la cuvette, les tourbillons verticaux travaillent à faire reculer les parois latéralement. La forme parfaite de la caoudeyre se rapproche de l'ovale, la pointe dirigée vers le bas de la dune. On observe parfois, associés aux caoudeyres, des sillons étroits et allongés de peu de profondeur. Nous en avons mesuré un de 200 mètres de long et de 10 mètres de large à peine. Sont-ce d'anciennes formes d'accumulation retouchées par le remaniement, ou faut-il y voir le résultat de conditions spéciales d'érosion ?

(1) A. Baldit. *Op. cit.*, p. 156.

(2) Le même phénomène se passe dans les tourmentes de neige. Dans les Alpes, on voit fréquemment la neige emportée en tourbillons verticaux.

Les vents démolisseurs.

La caoudeyre s'ouvre au vent et progresse sous le vent. En une promenade de Nieuport à Bray-Dunes on note que la majorité des cuvettes d'érosion s'ouvrent à l'Ouest, avec de légères variantes. Par conséquent les mêmes vents dominants qui, au bord de la mer, édifient les dunes-bordières, se chargent aussi de démolir ce qu'ils ont construit il y a quelques siècles. Dans cette destruction leur rôle est toutefois moins exclusif. Sur la face interne des anciennes dunes nous avons vu des caoudeyres accouplées, ouvertes à l'Ouest-Sud-Ouest et au Sud-Sud-Ouest, se raccordant par les sommets. Les vents du Nord-Ouest et du Nord ont aussi ouvert des brèches dans la falaise au-dessus de l'avant-dune, défonçant quelquefois les parois latérales de caoudeyres intérieures allongées Ouest-Est. Les traits généraux du relief sont néanmoins subordonnés au trajet des vents dominants.

Évolution de la cuvette éolienne.

Du creux en « nid », première ébauche de l'usure éolienne, à la caoudeyre ovale, et jusqu'au bassin à fond plat qui se stabilise au niveau d'af-

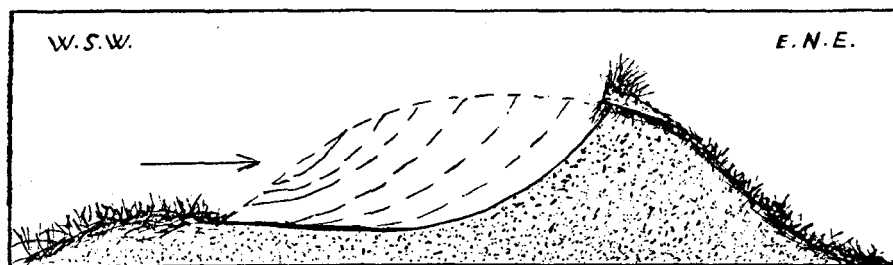


Fig. 6. — *Évolution de la cuvette éolienne.*
En traits interrompus : profils successifs qui s'abaissent jusqu'au niveau de la nappe aquifère. Dunes embryonnaires au sommet de la pente d'érosion et à l'entrée de la caoudeyre. La flèche indique le sens des vents démolisseurs.

fleurement de la nappe phréatique, le processus de destruction de la dune suit une marche régulière (Fig. 6). Le profil d'érosion s'enfonce jusqu'à ce que le niveau de la nappe d'eau soit atteint ; le noyau de la cuvette recule sous le vent, tandis que les bras s'allongent. La hauteur des talus dépend de l'épaisseur de l'ancienne dune fixée au-dessus du niveau

de la nappe aquifère. Les dimensions des cuvettes sont extrêmement variables ; il y en a de 5 mètres sur 3 mètres de diamètres d'ouverture, d'autres dont le fond seul mesure 150 mètres de long et 70 mètres de large entre des berges aplaties. Dans les caoudeyres largement ouvertes et fortement exposées à la déflation, on observe souvent des entailles profondes, des dégorgements, aux points d'inflexion de la ligne frontale avec les branches latérales (1). Peut-être faut-il y voir un effet des tourbillons verticaux qui naissent aux extrémités du noyau et dont le déplacement est gêné par les bras de la caoudeyre. Lorsque ces chenaux débouchent sur une dune plus élevée que celle d'où ils sont partis, ils sont cause parfois d'une nouvelle cuvette. Il y a aussi des caoudeyres à noyaux multiples, raccordés par des couloirs latéraux ; des cuvettes qui s'ouvrent en W ; il en est d'avortées aux contours bizarres. Ce sont là des indices de perturbations dans le travail normal de l'érosion, effets probablement de brusques sautes de vent ; l'architecture fondamentale du relief de creusement n'en est pas influencée.

Dune parabolique et panne.

Phases d'une érosion mûre et stade ultime du creusement, ces deux aspects de dunes remaniées sont trop connus pour que nous ayons à y insister (2). Les *pannes*, cuvettes éoliennes fixées par la végétation, sont spéciales au littoral de la mer du Nord.

Formes d'accumulation parasites du remaniement.

Sur le sommet des cuvettes où du sable retombe après avoir été le jouet des tourbillons, l'oyat trouve les mêmes conditions de croissance que sur la grève ; il est donc naturel d'y rencontrer des dunes embryonnaires de type normal ; la face abrupte prolonge quelquefois le talus de la caoudeyre (Fig. 6). Ces dunes embryonnaires se montrent aussi à la pointe basse de la cuvette où elles s'avancent, en promontoires, au milieu de la mare (Pl. III-A). Enfin elles naissent également en associations touffues aux endroits intensément remués. Le vent s'y trouve aux prises

(1) E. et G. Harlé en ont reproduit de nombreux dessins dans leur mémoire sur les dunes de Gascogne. *Op. cit.*

(2) Voir notamment : A. Briquet. *Les dunes littorales*, p. 393.

avec des obstacles divers : *crocs* ou buttes témoins de l'ancienne dune (1), écrans de buissons, arbustes à demi enfouis sous les sables. Devant les *crocs*, obstacles impénétrables et isolés, les sables se déposent à quelque distance au vent en laissant le pied dégagé. Le tourbillon à axe horizontal, développé en avant de la dune, laisse, à la rencontre de la branche descendante et du courant principal, une zone morte où les matériaux en suspension tombent et s'accumulent (Fig. 4 et 5) (2). Le sable s'étale aussi à la surface des *crocs* peu élevés, donnant naissance, avec la complicité de l'oyat, à de fausses dunes embryonnaires (Pl. III et IV). En été, lorsque les buissons d'argousiers et de saules rampants sont couverts d'un épais feuillage, ceux-ci se comportent comme des obstacles imperméables et le sable se dépose en cintre harmonieux devant eux. Lorsque le vent souffle à travers des faisceaux de tiges mortes qui jouent le rôle d'obstacle perméable et rigide, le sable remplit l'intérieur de la plante en élevant un dôme légèrement étiré sous le vent. Le même phénomène se produit en automne, après la chute des feuilles, et pour autant que l'accumulation soit encore active. Toutes ces variétés d'accumulation parasite sont inséparables d'un relief de remaniement éolien au début de la maturité.

Dune mobile.

Avec son relief indécis et fuyant, de creusement ou d'accumulation, ou des deux à la fois, la dune mobile, dont il est impossible de fixer les contours, est l'aspect le plus original du paysage dunair. Toutes ses fantaisies, ses nombreux méfaits ont rempli les annales des calamités publiques et il ne reste plus grand'chose à dire à son sujet.

LE TROISIÈME SYSTÈME DUNAIR.

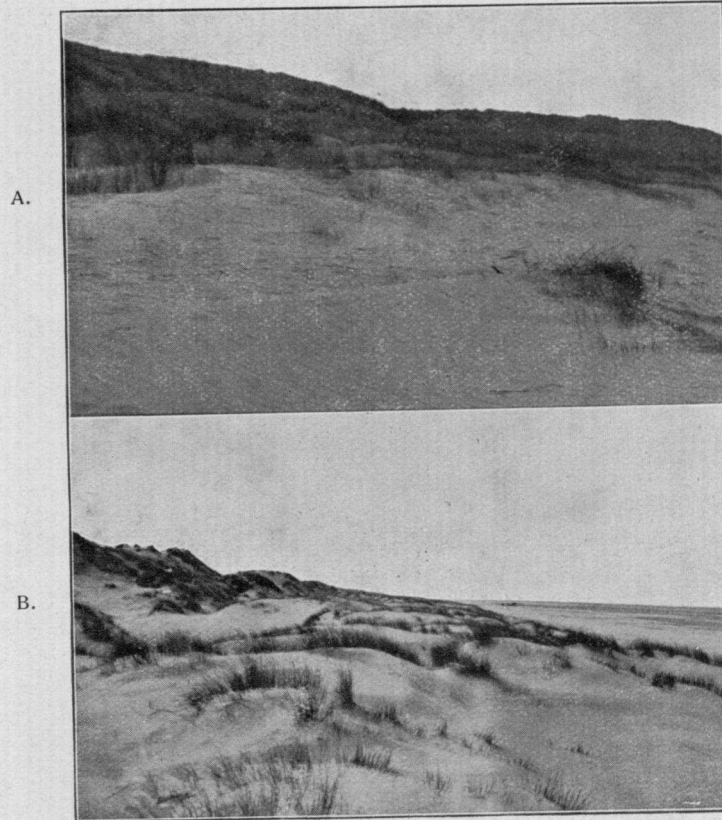
Des trois zones de dunes côtières, la dernière est la moins importante, resserrée entre les polders et le deuxième système dunair. Elle a aussi le relief le plus effacé parce que le plus usé. La limite entre ces deux chaînes de dunes internes est imprécise. De l'une à l'autre le paysage s'élargit imperceptiblement et devient plus riant. Les cuvettes aux talus bouillants font place à de larges dépressions fixées ; aux lumières

(1) A. Demangeon. *La Picardie*. Paris, A. Colin, 1905, p. 175.

(2) A. Baldit. *Op. cit.*, p. 144, fig. 56 et 68.

Planche I. — *Dunes en formation sur l'estran au Sud-Ouest de La Panne.*

Cl. A. de Ghellinck.



Cl. M. A. Lefèvre.

- A. — Dune embryonnaire de vents d'Ouest, en pente douce sous le vent, derrière une touffe d'oyats.
- B. — Système de dunes bordières parallèle au rivage, adossé à une falaise dunaire d'abrasion marine.

crues des sables frais et des nappes d'eau à reflets métalliques, s'oppose la verdure reposante de taillis et de fonds humides herbeux. D'étroites croupes sableuses sont les derniers témoins d'un ancien relief d'ablation ; on reconnaît aisément dans ces rangées de monticules des traînées de dunes paraboliques (1). Les surfaces plates au niveau de la nappe aquifère, sur lesquelles les noyaux de caoudeyres ont reculé, ont été des sites d'habitat préhistorique et sont encore recherchées aujourd'hui par la population de pêcheurs et de maraîchers. Sur un sol pauvre que ni le vent ni la mer ne leur disputent, les gens de la côte ont cultivé ces « *wanderbahnen* », ces « pannes », assez vastes que pour donner asile à des hommes, à leurs bêtes et à leurs maisonnettes entourées de petits champs.

LES PAYSAGES DUNAUX.

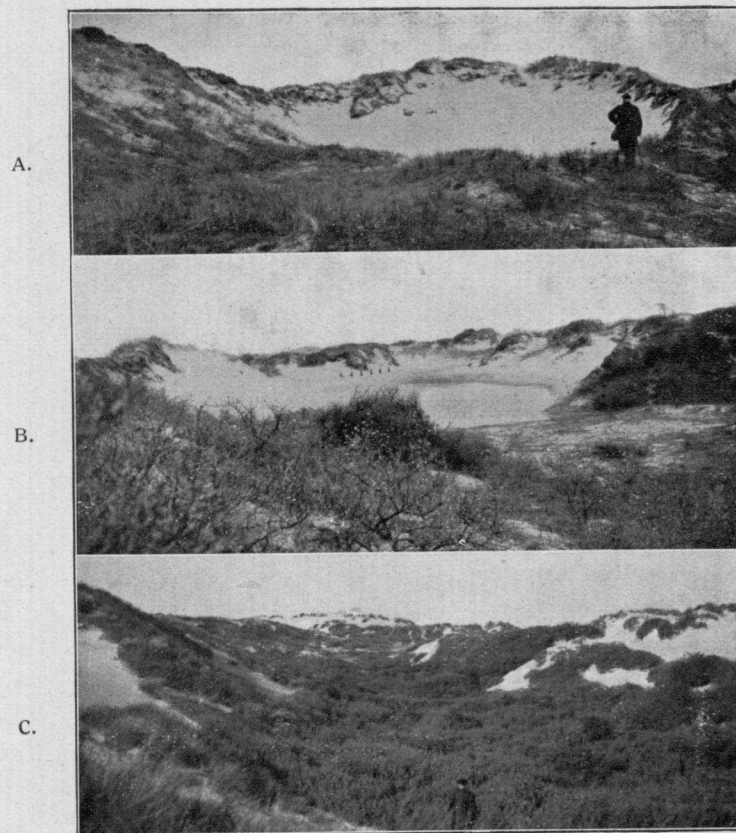
Selon que des formes d'une érosion jeune ou d'un remaniement modéré se mêlent à un modelé de déflation intense ou à des éléments d'une topographie mûre, que l'on a affaire à une architecture se rapportant à une période unique ou bien que des éléments d'une attaque plus récente se superposent aux ruines d'un remaniement fixé, il y aura autant d'aspects différenciés, autant de physionomies dunales. Le paysage des dunes remaniées au Sud-Ouest de La Panne est à peine comparable à ce qu'on voit au Nord-Est.

Les dunes remaniées du Sud-Ouest.

En gravissant une cime de haute dune, les plus élevées ne dépassent guère 30 mètres, la vue vers l'intérieur rappelle les champs de bataille labourés par les obus en marmites géantes, où la végétation spontanée envahit les dernières parcelles de sol sain. Par place de grandes taches sombres de taillis hirsutes et comme calcinés ont quelque chose de sinistre et évoquent le désastre. Des caoudeyres multiples et variées, blessures fraîchement ouvertes, voisinent avec des pannes, cicatrices d'une érosion antérieure que la végétation recouvre et dissimule. Nous trouvons ici, juxtaposées et superposées, des formes de déflation appartenant à deux cycles d'érosion au moins. Quoiqu'il y ait une forte

(1) A. Briquet. *Les dunes littorales*, Op. cit., p. 393.

Planche II. — *Phases successives de l'évolution de la cuvette éolienne dans les dunes au Sud-Ouest de La Panne.*



Cl. M. A. Lefèvre.

A. — Jeune *caoudeyre* ouverte par les vents dominants d'Ouest.

B. — Cuvette éolienne au stade de la maturité : affleurement de la nappe aquifère, *crocs* sur les talus, commencement de fixation à l'entrée de la cuvette ouverte aux vents d'Ouest.

C. — *Panne* ou ancienne cuvette d'érosion éolienne fixée par la végétation. Les bords sont envahis par le sable provenant du remaniement récent.

compénétration des formes, les plus anciennes sont aussi les plus intérieures ; les plus récentes sont installées de préférence sur la face interne de l'épaisse muraille qui se dresse en arrière des dunes bordières. Peut-être cette deuxième ligne de dunes fut-elle édiflée au cours d'une période d'accumulation relativement longue ; la première partie construite aurait déjà été livrée à la destruction en même temps que le dépôt progressait encore vers la mer. Ainsi s'expliqueraient les phases successives d'érosion, qui ne seraient en réalité qu'un cycle continu se déplaçant de l'intérieur vers le rivage à mesure que l'éloignement de l'estran arrêta la croissance de l'oyat à la surface de la dune bordière. Les jeunes caoudeyres sont très individualisées et ne se rejoignent que rarement, indice d'une évolution peu avancée ; entre elles l'ancienne surface est encore conservée mais mal protégée par le fragile manteau de peluche d'oyats qui dépérissent par manque de sable frais. Sur les sommets des cuvettes, par contre, des familles nombreuses de dunes embryonnaires s'épanouissent au souffle nourricier des vents dominants d'Ouest. Camouflés sous un plaquage de sable, avec une houppes de feuilles enroulées qui leur donnent des airs de jeunesse, des témoins de l'ancienne dune, des crocs, se mêlent fréquemment aux jeunes dunes parasites. On les repère sans peine ; face au vent, et souvent même sur les pourtours, les talus d'érosion sont frangés de filaments brunâtres lamentables débris d'une végétation jadis vigoureuse. Les crocs étant des obstacles imperméables au vent il y a dépôt sableux à leur pied, en pente douce au vent et, selon la force du courant et la hauteur des buttes, avec ou sans rainure sous le vent. Au milieu de ce remaniement, modéré et récent, on se trouve brusquement arrêté, de façon inattendue, par un fourré épineux à travers lequel on voit miroiter une nappe d'eau ; c'est la panne, témoin d'un remaniement fixé (Pl. II-C). Quand elle n'est pas loin d'une caoudeyre elle en reçoit sur ses rebords du sable meuble où l'oyat s'installe aussitôt.

Pannes et caoudeyres sont elles-mêmes menacées par un bouleversement plus intense ; une grande dune mouvante s'avance de l'Ouest. Son point de départ correspond à peu près avec la frontière française, au voisinage de la « ligne stratégique Foch ». On pourrait croire que les travaux de la guerre furent en grande partie la cause de cet énorme déplacement de sable ; il nous a été impossible de savoir si la dune était déjà en mouvement avant la guerre et si les opérations militaires n'ont fait qu'accélérer et amplifier son déplacement ou bien si elles l'ont provoqué. Le front de la dune se meut vers l'Est dans le sens

de la structure fondamentale, et sous la poussée des vents d'Ouest (Pl. V). En avant de la dune et sur ses flancs les sables remplissent les fonds plats des caoudeyres et enterrent la végétation des pannes. Parfois des crocs isolés émergent de cette houle de sable et parviennent à attirer dans leur voisinage des dunes embryonnaires sporadiques. Le principal intérêt qu'offre cette dune sont les formations désertiques qui y apparaissent temporairement. Pendant les étés 1928 et 1929 nous avons eu la bonne fortune d'y photographier des *barkhanes* typiques (Pl. VI). L'impression de désert était complète au milieu de ces monticules en croissant, sur l'immense voûte aplatie de la dune chauve qui cachait aux regards tout le paysage environnant. Ces *barkhanes* étaient modestes ; hautes de cinquante à soixante quinze centimètres, de un à deux m. de large, leurs cornes ne mesuraient pas beaucoup plus d'un mètre. Elles étaient dirigées vers l'Est, la surface convexe en pente douce face à l'Ouest; nouvelle manifestation de l'activité débordante des vents atlantiques. Au printemps de 1930, à notre grand étonnement, tous les *barkhanes* avaient disparu ; il ne s'en est pas reformé au cours de l'été dernier. La raison est à n'en pas douter d'ordre pluviométrique : une répartition inégale des pluies saisonnières. Les étés de 1928 et de 1929 furent particulièrement secs. Les précipitations des mois de juin, juillet et août, équivalent aux quantités d'eau tombées pendant les seuls mois de novembre de ces années (tableau III). Elles étaient inférieures aux précipitations du mois de juillet 1930. Les étés 1928 et 1929 ont donc été marqués, comparativement aux automnes des années à précipitations normales et à l'humidité exagérée de l'été 1930, par un régime quasi « désertique » au point que des *barkhanes* ont pu naître. Leur faible développement comparé aux dimensions des *barkhanes* des grands déserts n'est sans doute qu'une question de durée. Sur les dunes littorales, les dunes en croissant sont des apparitions éphémères qui ne survivent pas à des pluies un peu abondantes. Formes de dune mouvante au contact de deux plans de friction, plutôt que dunes d'accumulation autour d'un obstacle, elles naissent du freinage des couches atmosphériques sur une surface unie de sables meubles ; par frottement les particules glissent sur le plan de friction sans être emportées dans les couches d'air laminaires supérieures. Les rides des surfaces sableuses appartiennent au même ordre de phénomènes. Le *barkhane* n'existe probablement pas à l'état de dune fixée. Celle-ci exige beaucoup d'humidité pour permettre à la végétation de prendre racine ; or les pluies font s'évanouir la forme en croissant des dunes de climat sec.

TABLEAU III.

PRÉCIPITATIONS A OSTENDE

		1928		1929		1930	
		Nombre de jours de pluie	Eau tombée mm.	Nombre de jours de pluie	Eau tombée mm.	Nombre de jours de pluie	Eau tombée mm.
HIVER	Décembre	19	100,3	25	85	23	97,8
	Janvier	10	48,9	20	31,1	15	35,1
	Février			5	22,5	6	22,4
				50	138,6	44	155,6
PRINTEMPS	Mars	11	46,1	4	11,5	12	19,8
	Avril	18	44,8	17	25,6	10	38,1
	Mai	11	83,6	9	14,9	16	61,2
		40	174,5	30	52	38	161,1
ÉTÉ	Juin	15	37,8	11	33,1	7	27
	Juillet	11	39,8	8	31,8	19	121,3
	Août	14	36,6	9	45,4	13	68,3
		40	114,2	28	110,3	39	216,6
AUTOMNE	Septembre	6	43,6	6	49,6	20	86,8
	Octobre	21	64,5	18	137,6	19	74,2
	Novembre	23	105,5	19	113	19	158,9
		50	213,6	43	300,2	58	339,9

Ce tableau est établi par dépouillement des Bulletins climatologiques mensuels de l'Institut royal météorologique de Belgique.

Les dunes au Nord-Est de La Panne.

Vers Oost-Duinkerke, vers Groenendijk et jusqu'à Nieuport la dune intérieure a souffert d'une violence extrême des vents. Les caoudeyres se sont soudées entr'elles en recoupant leurs crêtes et en abaissant les pentes de leurs talus. Les dunes embryonnaires foisonnent, mais il en est beaucoup de « fausses » dont le noyau est un croc. Les chicots de dunes déchaussées sont aussi nombreux. Sur cette mer démontée le moindre souffle emporte le sable en fumée. Ce serait le type parfait de la *pourrière* (1) si l'expression ne nous paraissait impropre à qualifier une morphologie spéciale de remaniement (Pl. IV-A). En effet, aussi bien de la cuvette éolienne que des crocs et de la dune mouvante, le sable peut être emporté en poussière. Il n'est même pas rare de voir « fumer » les dunes embryonnaires et les dunes bordières. Partout où il y a du sable nu, une « turbulence » du vent donnera lieu à des nuages poussiéreux.

Malgré les rappels constants de choses vues dans les paysages décrits précédemment, il est impossible de rattacher celui-ci à aucun des trois aspects notés déjà. Les cuvettes très évoluées se rejoignent par leurs bords et n'ont épargné de l'ancienne dune que des témoins réduits (Pl. IV-B). C'est le paysage que sur la côte baltique on appelle *Küpstendüne*. Au fond de quelques creux se cachent de petites mares menacées par les sables mouvants. Cependant on n'a pas affaire à une dune mobile ordinaire. Sur les crocs et les dunes embryonnaires l'oyat pousse trop abondamment — indépendamment des plantations qui viennent d'être faites — pour que se produise un déplacement en grande masse. C'est un modelé de remaniement intense arrivé à pleine maturité et étendu à une large bande de dunes où le vent a eu beau jeu pour une attaque violente. Les plantes ligneuses sont assez rares ; le vent ne leur a sans doute pas laissé le temps de remplacer l'oyat, quand a cessé le stade d'accumulation. On ne voit pas non plus ces associations étroites de vieux fonds de pannes vertes et de jeunes caoudeyres, ce qui donne à croire qu'il n'y a pas eu en cet endroit de remaniement antérieur au cycle actuel, à moins que celui-ci n'ait opéré une transformation à laquelle aucune parcelle d'un état plus ancien n'aurait échappé.

Plus loin vers l'intérieur, on passe aussi à un troisième système dunal

(1) A. Demangeon. *Op. cit.*, p. 175.

A. Briquet. *Les dunes littorales. Op. cit.*, pp. 390 et 391.

qui ne ressemble pas davantage aux très vieilles dunes de La Panne. Une série de grands arcs dunaux, quatre au moins, se détachent de la dune au modelé mûr (Fig. 7). L'un d'eux, près de Coxyde porte le Hoogenblekker, la plus haute dune du littoral belge, 31 mètres. Ces mouve-

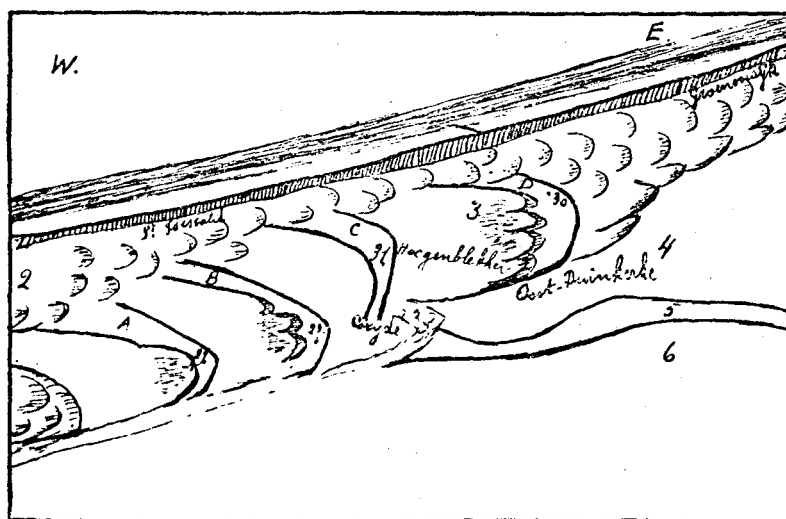
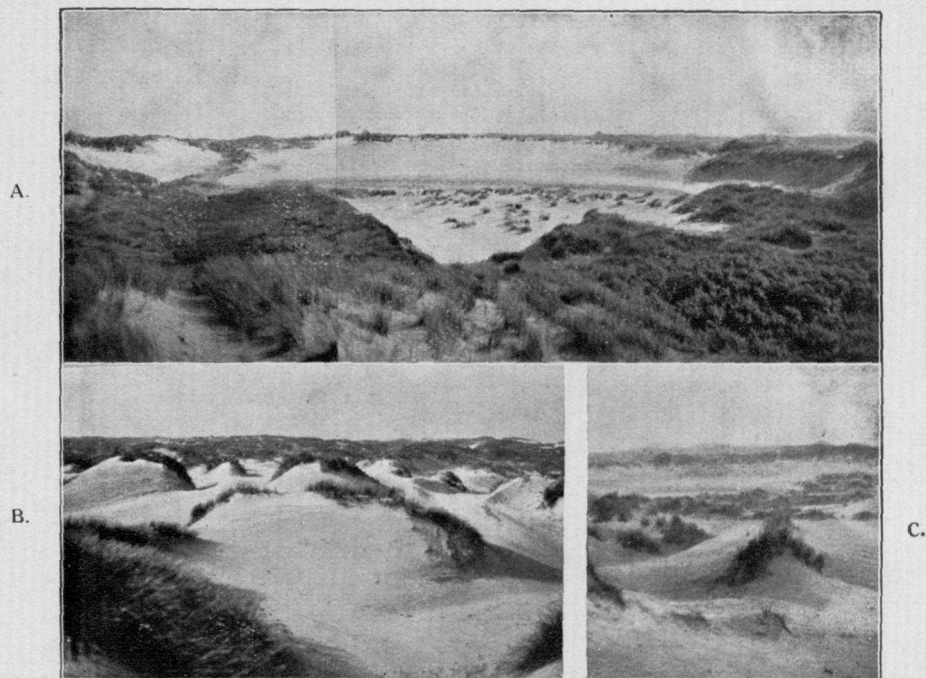


Fig. 7. — Schéma des dunes au N. E. de La Panne.
 A, B, C et D — dunes en crochet; 1 — falaise de dunes bordières récentes soumises à l'abrasion; 2 — dunes anciennes intensément remaniées : « Kùpstendüne »; 3 — dunes paraboliques en rateau au coude des dunes en crochet; 4 et 6 — polders; 5 — ancien cordon littoral.

ments incurvés enserrent des fonds plats herbeux ou cultivés; les pentes sableuses exposées aux vents d'Ouest sont vivement attaquées par le creusement. On y a vu des dunes-paraboliques (1). Nous croyons plutôt à une « morphologie littorale de dunes en crochet ». La largeur des fonds est démesurée et disproportionnée à leur longueur pour qu'on y puisse reconnaître une voie de déblaiement éolien; ce sont des plaines sableuses, unies, avec quelques tertres, portant des bouquets d'arbustes, aspect de topographie lagunaire, très différent des couloirs bossués couverts de plantes adaptées aux conditions d'humidité et de sol d'une panne. La localisation de ces dunes à la limite même des polders, leur proximité de l'estuaire de l'Yser et le fait qu'elles s'appuient sur un cordon littoral qui va de Oost-Duinkerke à Nieuport s'accordent avec les

(1) A. Briquet. *Le littoral du Nord*. Op. cit., fig. 132, p. 339.

Planche III. — *Dunes remaniées au Sud-Ouest de La Panne ; complexe de formes dues à la déflation et de dunes embryonnaires parasites.*



C. M. A. Lefèvre.

A. — *Caoudeyre* très évoluée ; de droite à gauche on voit successivement : a) l'ancien fond fixé par la végétation ; b) les dunes embryonnaires à l'entrée de la cuvette, c) la zone sombre des sables humides au niveau de la nappe d'eau ; d) le talus d'érosion.

B. — Dunes embryonnaires, en pente douce sous le vent, au sommet de la cuvette éolienne.

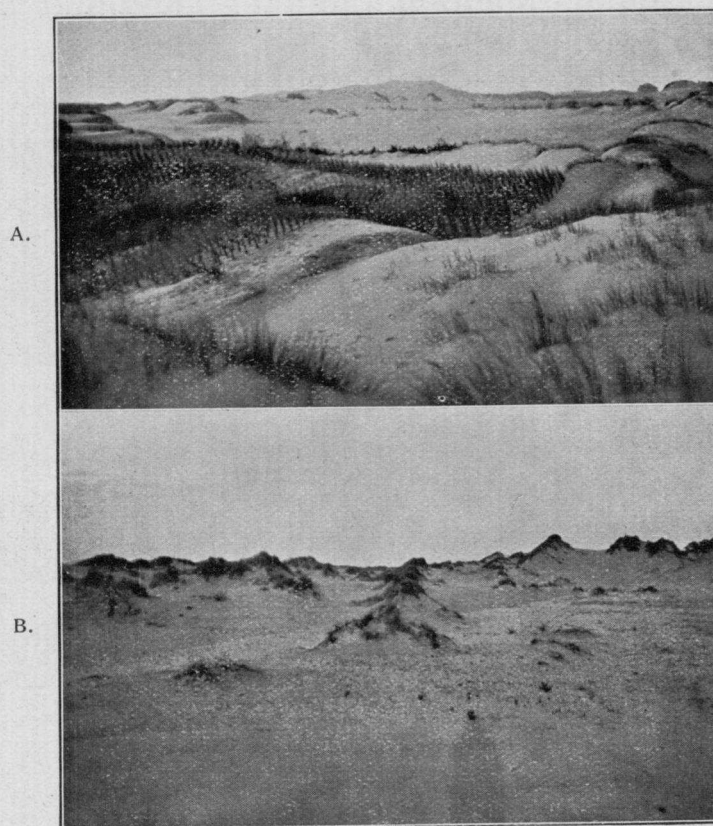
C. — Dune embryonnaire isolée à l'entrée de la *caoudeyre*. Sous le vent d'Ouest, derrière l'obstacle perméable et flexible (oyat) monticule trapézoïdal — à gauche de la figure — ; accumulation en pente douce en avant de la dune se comportant comme un obstacle impénétrable.

conditions de développement des dunes en crochet. On observe même le renflement caractéristique aux coudes des arcs ; le Hoogenblekker est un sommet de coude d'arc ; l'arc de St-Idesbald porte un autre sommet de 27 mètres. Il n'y a pas lieu de développer ici ces considérations qui relèvent plutôt de l'évolution littorale que de la morphologie éolienne (1). Il était nécessaire toutefois d'opposer l'hypothèse d'une topographie littorale à celle d'un remaniement par les vents pour expliquer ces formes des dunes au Sud-Ouest de Nieuport. Les dunes paraboliques n'y font pas entièrement défaut d'ailleurs ; elles existent localement dans l'épaisseur des sables aux inflexions des arcs. Près d'Oost-Duinkerke on observe un beau schéma de dunes en rateau ou dune parabolique complexe à multiples bras (Fig. 7). Ces formes de creusement éolien ne sont que des détails dans une topographie littorale d'ensemble.

L'originalité de la morphologie éolienne littorale sur la côte occidentale de la Flandre est en ordre principal fonction de l'orientation du rivage dans la direction des vents dominants ; les vents du Sud-Ouest à Ouest de régime atlantique construisent sur un estran délaissé par le courant littoral un complexe de dunes embryonnaires ou avant-dune. Sur les anciennes dunes, ces mêmes vents, par un mécanisme de mouvements tourbillonnaires à axe horizontal, ouvrent des entailles sur les pentes dénudées et font progresser vers l'Est les noyaux des cuvettes éoliennes. Les tourbillons à axe vertical, auxiliaire des turbulences à axe horizontal, déblayent le terrain des matériaux meubles qui l'encombrent. Direction du rivage et direction des vents dominants déterminent les axes de la structure : le parallélisme des systèmes dunaux et de la côte auxquels se subordonnent les profils d'accumulation et les axes de creusement. Dans l'apparente confusion de ces dunes il n'est pas difficile de découvrir des structures de second plan : forme constructive de la dune embryonnaire, en abrupt au vent et en pente douce sous le vent, commandée par la nature de l'obstacle ; chevauchement des alignements primaires du complexe des dunes bordières ; chaos de la dune remaniée parce que les cycles d'érosion ont enchevêtré des formes de creusement

(1) Sur l'évolution des dunes en crochet voir : W. D. Johnson, *Shore process and Shoreline development*. New-York, John Wiley and sons, 1919, chap. IX.

Planche IV. — Deux aspects de remaniement intense
dans les dunes de Groenendijk.



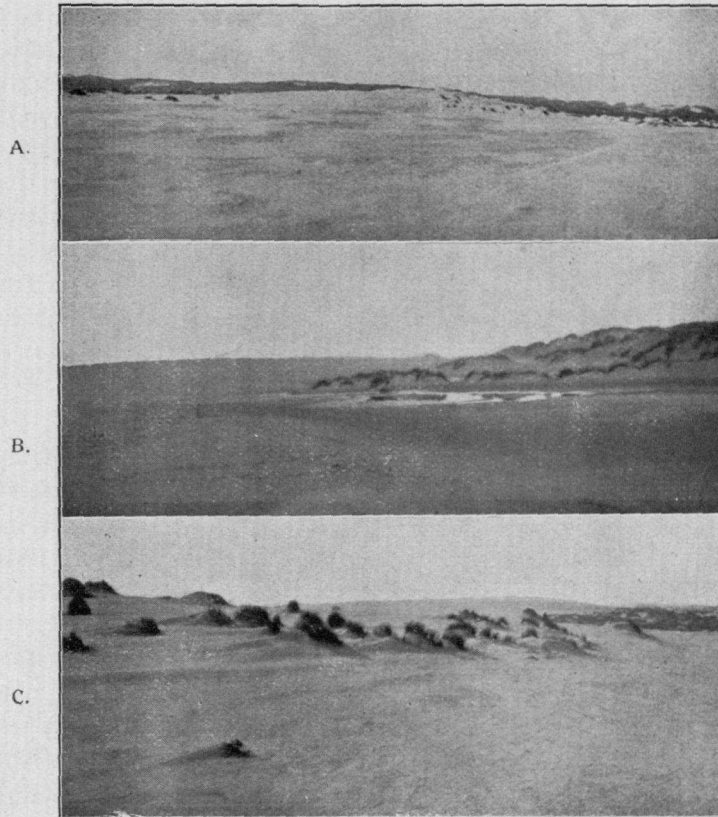
Cl. M. A. Lefèvre.

A. — *Caoudeyres* très élargies, accompagnées de nombreuses dunes embryonnaires et de *crocs* enrobés dans du sable frais. Les pentes douces, sous le vent, sont dirigées vers l'Est. Plantation récente d'oyats.

B. — *Küpstendüne* résultant d'un remaniement intense d'une ancienne dune dont il ne subsiste que des butte stémoin, des *crocs*.

auxquelles sont mêlées des accumulations parasites ; enfin apparition temporaire de barkhanes associant de façon bizarre un aspect désertique à un relief littoral. Quant à l'action marine, elle consiste principalement, ici à fournir le terrain à bâtir et les matériaux de construction, ailleurs à raser le lent travail de plusieurs siècles.

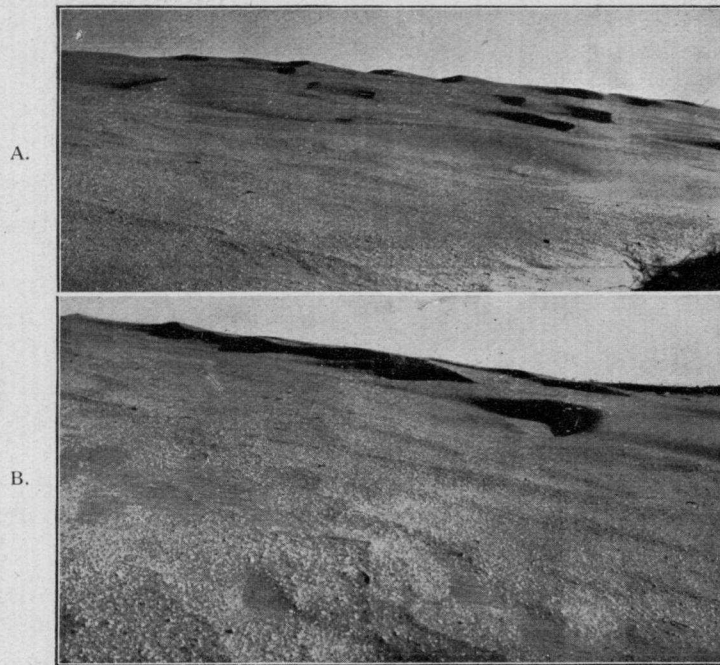
Planche V. — *Dune mobile au Sud-Ouest de la Panne.*



Cl. M. A. Lefèvre.

- A. — Front de la dune progressant vers l'Est.
B. — Dune mobile recoupant un fond de cuvette éolienne.
C. — Famille de dunes embryonnaires sur le rebord de la dune mobile.

Planche VI. — *Dunes désertiques temporaires apparues pendant les étés 1928 et 1929 sur la dune mobile au Sud-Ouest de La Panne.*



Cl. M. A. Lefèvre.

A. — Barkhanes ou dunes en croissant. La convexité est tournée aux vents dominants d'Ouest, les pointes sont dirigées vers l'Est, sous le vent.

B. — Barkhanes soudés, formant une chaîne de dunes transversales.