

1.7

58a



Nº 55

L'AGRICULTURE

ET LES COURS D'EAU

L'AGRICULTURE

ET

50

LES COURS D'EAU

PAR

A RONNA

INGÉNIEUR

MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE



PARIS

LIBRAIRIE AGRICOLE DE LA MAISON RUSTIQUE

26, RUE JACOB, 26.

AVANT-PROPOS

Les articles sur les *Cours d'eau*, publiés dans le *Journal d'Agriculture pratique*, du 26 septembre 1895 au 2 juin 1898, qui paraissent aujourd'hui réunis en volume, ont été détachés d'un traité inédit, où sont exposés les principes hydrographiques et hydrologiques concernant les fleuves et les torrents, leurs crues et leurs inondations, leurs embouchures et leurs deltas, en même temps que les travaux de conservation, de défense, de rectification, qui intéressent à des titres divers l'agriculture et la navigation. Ce traité est le complément indispensable de celui que nous avons publié sur l'aménagement des eaux au point de vue des irrigations (1).

Les chapitres reproduits n'ont traité, sous le rapport plus spécial de l'agriculture, qu'aux généralités sur le régime des rivières et aux ouvrages que les propriétaires cultivateurs peuvent entreprendre seuls, ou par voie d'association, dans le but de préserver les berges de l'action nuisible des courants, et d'entretenir le chenal, en l'améliorant.

Pour être de l'ordre technique, les remèdes à opposer aux dégradations partielles que causent les petits cours d'eau sont le plus souvent d'une application simple et facile, qu'il importe de rendre aussi économique que possible. C'est seulement pour des rivières d'une certaine portée qu'il devient nécessaire de concerter entre propriétaires riverains un plan d'ensemble, s'étendant à un parcours plus ou moins long, et de s'entendre sur la part contributive de chacun pour l'exécution.

De toutes manières, l'agriculteur doit être le premier, comme étant directement en cause, à saisir l'importance de ces opérations, qui ont pour résultat, non seulement d'endiguer les cours d'eau, mais encore de les régulariser au profit des alluvions et des terres riveraines, le plus souvent d'une grande valeur.

Aussi, ne nous sommes-nous pas borné à envisager les travaux dont les propriétaires seuls peuvent se charger, tels que plantations, clayonnages, fascinages, gazonnements, perrés, muraillements, etc., mais encore ceux qui exigent le concours de l'ingénieur, en vue de construire des ouvrages permanents de défense, tels que épis, estacades, jetées et digues. Enfin, à propos du curage, susceptible de redresser le lit défectueux de quelques rivières, nous avons résumé les instructions pratiques, indispensables pour l'usage des agriculteurs.

A. RONNA.

(1) *Les Irrigations*, 3 vol. in-8°, 1888-1890. Prix : 48 francs.

L'AGRICULTURE ET LES COURS D'EAU

I

LE RÉGIME DES COURS D'EAU

Qu'il s'agisse de ruisseaux, de rivières non flottables, de rivières flottables seulement à de certaines époques de l'année, ou de fleuves servant au transport régulier des produits de l'agriculture et de l'industrie, on ne peut décider la nature des travaux de défense, d'amélioration, et d'utilisation, dont ils sont susceptibles, sans connaître préalablement d'une manière exacte les conditions de leur régime, à l'état normal et anormal.

Les cours d'eau sont soumis à de telles variations, parfois si subites et désastreuses, que leur valeur flottable, navigable ou arrosable est forcément une fonction des basses eaux et des hautes eaux, c'est-à-dire de l'étiage moyen.

Il en résulte que les travaux à entreprendre, en vue de prévenir les débordements, d'assurer la navigabilité, ou de dériver des canaux, sont connexes. Les intérêts de l'agriculture sont partout en jeu, non seulement à l'égard des inondations et des prises d'eau, mais encore de l'écoulement des terrains en culture. L'industrie intervient, à son tour, pour que les barrages et les chutes donnant la force motrice, soient placés et aménagés au mieux de ses intérêts.

Ainsi, tout système de protection, de régularisation et d'utilisation des cours d'eau, qui ne tient pas un compte suffisant de leur régime, n'atteint pas le but, à savoir : concilier les intérêts de l'agriculture et de l'industrie riveraines, en même temps que ceux non moins im-

portants de la navigation. Il y a donc lieu d'examiner avant tout, ce que l'on entend par régime.

Quelques contrastes que présentent les cours d'eau, par rapport à leur développement, au volume de leurs eaux, à la nature des terrains qu'ils traversent, à la forme et au nombre de leurs méandres, ils offrent tous, dans leur profil en long, depuis la source jusqu'à l'embouchure, une courbe parabolique d'une régularité presque parfaite.

A pentes plus ou moins rapides, dans la partie supérieure de son cours, la rivière creuse son lit dans le sol où elle coule ; c'est *la zone d'érosion*. Les berges, ou les gorges des montagnes qui l'encaissent, sont corrodées ; les fragments de roche et les éboulis sont transportés, d'étage en étage, jusqu'à une seconde zone située dans le thalweg de la vallée, où les pentes s'adoucent, le lit prend une largeur presque uniforme, et le régime devient plus régulier ; c'est *la zone de compensation*. Les matériaux charriés, galets et graviers, se déposent pour ne laisser entraîner que des fragments plus ténus, et faire place à de nouveaux sédiments. A cette zone succède dès lors celle *de dépôt*. La pente, diminuant au fur et à mesure que l'embouchure se rapproche, finit par devenir insensible ; le lit s'élargit d'autant plus que la profondeur s'est réduite ; les matières malaxées par le courant s'arrêtent à l'état de sable et de vase, faute de vitesse, et forment des

atterrissements plus ou moins stables, des grèves, des îlots, et dans la mer, des bancs plus ou moins étendus, suivant les courants, qui forment des barres pour entraver l'entrée et la sortie des navires.

Dans sa section transversale, la largeur de la rivière augmentant de l'amont à l'aval, le profil est une courbe concave dont les eaux occupent le point le plus bas.

D'une manière générale, les cours d'eau descendant des montagnes sont torrentiels ou pérennes ; à régime hivernal ou estival.

Les cours d'eau torrentiels sont soumis périodiquement à des crues énormes, tandis que leur étiage normal est tellement faible qu'ils restent souvent à sec pendant une grande partie de l'année ; au contraire, les cours d'eau pérennes conservent toujours un étiage suffisant, tout en subissant, à certaines époques, des crues plus ou moins fortes. Tandis que les rivières estivales sont sujettes aux crues d'été, par suite de la fonte des neiges, des glaciers, et surtout des pluies climatériques, les rivières hivernales ne sont grossies que dans la période qui sépare l'automne du printemps, par les orages et les pluies continues de la saison.

Pente et vitesse. — C'est un principe élémentaire de physique, qui veut que les particules d'un liquide soient entraînées par la pesanteur dans la même direction, vers le centre de la terre, et que la surface de ce liquide tende constamment à se mettre de niveau. L'eau, abandonnée à elle-même, continue ainsi à se mouvoir, tant que ses particules n'ont pas atteint le même niveau. Il s'ensuit qu'à l'amont, l'eau d'une rivière gravite toujours vers celle en aval, suivant la pente du lit, et que toute la masse se meut jusqu'à ce qu'elle ait trouvé le niveau de l'embouchure.

La hauteur verticale de l'espace dans lequel se meut l'eau, prend le nom de *chute*, et la longueur du parcours divisé par la chute, donne la *pente*. Comme le mouvement de l'eau est contrarié par le frottement sur le fond et les côtés du chenal, la résultante des deux forces en jeu est la *vitesse* ; elle se calcule à raison de tant de mètres par minute, ou par kilomètre.

Plus la longueur du parcours est grande, relativement à la hauteur de la chute, plus le frottement est considérable ; de même, plus la vitesse se ralentit, et moins le volume d'eau entraîné dans un temps déterminé est considérable.

D'autre part, le frottement des particules d'eau entre elles étant moindre que celui subi au contact des corps solides, moins grande sera la surface du terrain traversé, et plus le frottement s'atténuera.

Il résulte de ces définitions appliquées au mouvement des eaux, que dans un chenal profond, grâce au frottement moindre, la vitesse est plus rapide, et toutes choses égales d'ailleurs, que dans un chenal rectiligne, le débit est plus fort que dans un chenal sinueux.

Le rapport entre la longueur du parcours et la hauteur de chute venant à diminuer, le frottement et le débit diminuent également.

Ceci posé, examinons les profils en travers et en long des rivières.

Profil en travers. — Lorsque les terrains encaissant une rivière se trouvent également inclinés à l'horizon, dans des plans perpendiculaires à la direction de son courant, et offrent une égale résistance, ce qui est le cas le plus rare, les eaux n'ont aucune tendance à se jeter sur une rive plutôt que sur l'autre, et le *fil* de l'eau, représenté par les points superficiels, animés de la plus grande vitesse, occupe le milieu du chenal dans sa longueur ; son profil en travers affecte une convexité d'autant plus sensible que la vitesse à la surface est plus grande.

Dans le cas, beaucoup plus fréquent, où

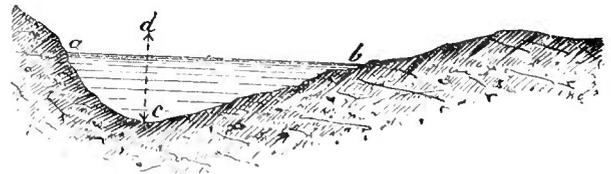


Fig. 1. — Section transversale d'un cours d'eau à rives inégales.

les terrains encaissants sont inégalement inclinés à l'horizon et résistants, les eaux se jettent du côté où la pente du profil est plus considérable. C'est de ce côté, dès lors, que se manifestent les plus grandes profondeurs d'eau et la plus grande vitesse superficielle ; c'est-à-dire

que le fil de l'eau quitte le milieu du chenal, et le point culminant de la convexité se reporte vers la rive profonde.

Le croquis (fig. 1) indique, dans la section transversale d'un cours d'eau à rives inégales, en $a c$, la rive de grande pente, et en d , le fil de l'eau correspondant.

Profil en long. — Si l'on considère le lit d'une rivière, sur une certaine longueur où aucun affluent ne débouche, un même volume d'eau devant passer par chacune de ses tranches transversales dans un temps donné, il faut que la vitesse *moyenne*, dans ces tranches d'eau vive, soit en raison inverse de leur surface. Ainsi, en passant d'une tranche à une autre de surface moindre, la vitesse moyenne augmentera, et réciproquement.

Soit (fig. 2) la ligne de terre $a b c d e f g h i j$, représentant le profil longitudinal d'un

cours d'eau, relevé le long de son thalweg, on remarquera que cette ligne, tout en ayant une pente générale, $a j$, d'amont en aval, présente des rapides plus accentués $b c$, ou moins accentués $h i$, des paliers $c d$, et des contre-pentes $d e$ et $f g$. Comment s'y comportera le mouvement de l'eau ?

En passant des sections du lit jouissant de la pente générale sur des sections plus inclinées, comme en b , l'eau prendra une vitesse moyenne plus grande et, par conséquent, l'aire de la tranche d'eau vive diminuera ; ou bien, le lit conservant sa largeur, la profondeur d'eau s'amointrira. Dans un cas, comme dans l'autre, la ligne d'eau se profilera suivant une courbe *convexe* au-dessus de b .

En passant des sections du lit, $g h$, ou $e f$, ayant la pente générale, sur celles moins inclinées, $h i$, ou en palier, $c d$, l'eau perdra de sa vitesse moyenne. La

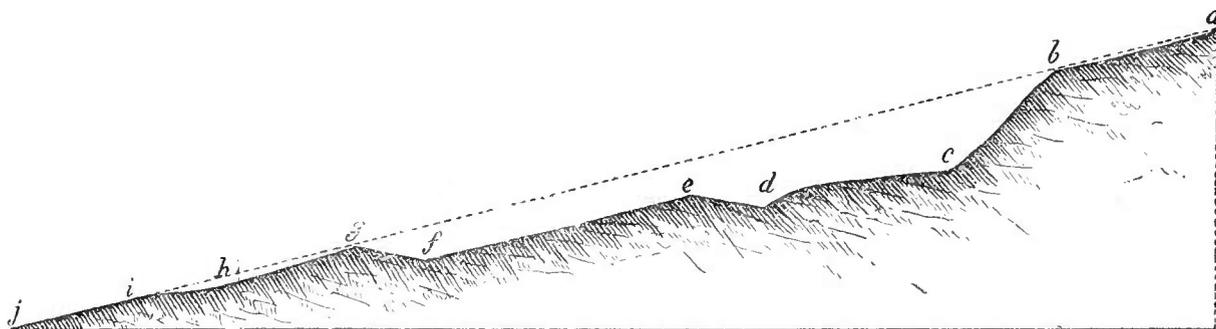


Fig. 2. — Section longitudinale du lit d'un cours d'eau avec pentes, paliers et contre-pentes.

vitesse moyenne pourra même être nulle, si la composante horizontale des forces, résultant de la vitesse acquise et de la pesanteur moindre, est nulle. La tranche d'eau vive subira, en conséquence, une augmentation de surface, de façon que le lit conservant sa largeur, il y aura plus de profondeur d'eau ; ou bien, la profondeur restant la même, le lit augmentera sa largeur. Dès lors, la ligne d'eau se profilera en long, suivant une courbe *concave* au-dessus des points h et f .

Il en sera de même quand la ligne d'eau correspondra au passage vers une contre-pente, en $d e$, ou en $f g$; car la tranche d'eau vive, comme dans les cas précédents, augmentera de surface. L'eau devra franchir l'étendue de la contre-pente en vertu de la seule vitesse acquise, et comme au point e , par exemple, la ligne de terre et la ligne d'eau sont convexes, la courbure sera d'autant

plus forte que la section suivante du lit, en $e f$, sera plus inclinée.

C'est seulement lorsque la relation reste constante entre la tranche d'eau vive, la pente du lit, et la consistance du sol, que le *régime* d'un cours d'eau est établi. Cette relation se produit à la longue, par le travail des corrosions et du temps ; elle s'accélère, ou se ralentit par les ouvrages exécutés de main d'homme.

Stabilité du régime.

En pratique, les pentes du lit et la vitesse du courant étant variables, le régime des rivières n'est jamais constant comme débit, dans une section donnée. Si l'eau est forte en amont, la pente et la vitesse augmentent proportionnellement ; en conséquence, la forme du lit et des berges ne peut pas rester constante.

D'ailleurs, le profil qui répondrait aux conditions de vitesse et de débit des

eaux d'étiage, ne saurait satisfaire aux conditions des eaux en crue, et comme entre ces limites extrêmes, de nombreux états intermédiaires se présentent, le profil et le débit, c'est-à-dire le régime, restent variables.

En théorie, pour qu'il demeure stable, le régime devrait remplir, selon Dubuat, les conditions suivantes :

1. Le lit doit être capable d'écouler toutes les eaux des crues avec une vitesse égale à celle que comporte la ténacité du fond et des berges. Comme cette ténacité est ordinairement plus grande au fond, la section prend plus de largeur, aux dépens des berges, que de profondeur, en affouillant le fond.

2. Le point où le régime est exact, commence à l'embouchure, mais il ne se déplace, en remontant vers la source, qu'autant que le chenal satisfait à la condition qui vient d'être énoncée. De toutes manières, plus le régime fait de progrès, plus les eaux des crues mettent de temps à gagner l'embouchure, et moins elles mettent de temps à faire sentir leurs effets au point où le régime cesse.

3. En dehors des crues exceptionnelles, le lit peut résister, pour une vitesse des eaux, moindre que celle du régime, sans se rétrécir, ni se combler, parce qu'alors les eaux sont claires et ne charrient pas de limon grossier ; ou du moins, les limons qui se déposent sont susceptibles d'être entraînés à chaque crue qui survient.

Le régime des rivières dépend donc de l'action combinée des trois éléments suivants : pente (quantité variable) ; débit (quantité variable), et ténacité du sol (quantité également variable, suivant les points du parcours). En d'autres termes, la profondeur du lit, la hauteur de chute et la composition physique du terrain ont entre elles une relation intime d'où dépend l'équilibre dynamique des cours d'eau, de telle sorte que l'on ne peut toucher, en un point quelconque, à la pente, à la profondeur, ou à la courbure d'une section, sans provoquer en amont et en aval de cette section une rupture de la balance des forces qui constitue leur régime.

Pente. — La pente est l'élément principal ; c'est-à-dire qu'un cours d'eau ne peut pas jouir d'un régime stable, s'il ne coule pas avec une pente uniforme, sur un

lit homogène, entre des rives résistantes.

Il est bien rare que la pente se rencontre dans ces conditions, à cause des chutes et du courant plus rapide à l'amont qu'à l'aval, dans la zone d'érosion ; à cause de l'expansion des crues et des modifications du chenal, dans la zone de compensation, et finalement, en raison des atterrissements et de l'action des remous, dans la zone de dépôt.

En général, quand la déclivité de la vallée est faible, le courant ralenti n'attaque pas le terrain qu'il traverse, et il ne survient aucun changement notable dans la forme du lit et des rives. Au contraire, quand la déclivité est assez grande pour développer une vitesse de courant, supérieure à la force de résistance du terrain, le lit et les rives se déforment en proportion de la vitesse et du débit.

La pente n'exerce d'ailleurs aucune influence dominante, quant à la longueur ou au développement des cours d'eau. Les fleuves de la Russie, le Volga, l'Oka, la Moskva, le Donetz, etc., à pentes très faibles, en sont une preuve frappante. Le Mississipi, qui draine avec son affluent, le Missouri, un sixième de la surface des Etats-Unis, soit 180,000 lieues carrées, sur une longueur de 7,000 kilomètres, n'a ses sources dans les petits lacs, au nord du Lac Supérieur, qu'à une altitude de 760 mètres au-dessus du niveau de la mer, et sa vitesse n'est que de 6 k. 5 à l'heure.

Vitesse. — La vitesse du courant dans la plaine ne dépend pas autant de la chute totale d'une rivière, que de la répartition de cette chute sur le parcours total. Ainsi, bon nombre de rivières à forte chute épuisent leur force dans la zone d'érosion, et ne coulent plus que lentement en terrain plat, dans les autres zones ; ce qui les expose particulièrement aux inondations, après les pluies d'orage et les crues des torrents d'amont.

On dit que la vitesse d'un cours d'eau est faible, quand elle est inférieure à 0^m,50 par kilomètre ; elle est ordinaire, entre 0^m,60 et 1 mètre ; elle est grande au delà, et très rapide, quand elle dépasse 2 mètres.

Dans les cours d'eau profonds, le courant se manifeste encore, quand la pente moyenne est de 3 millimètres à la surface. Dubuat estime que c'est la plus faible

pente que l'on puisse appliquer pour obtenir un écoulement régulier dans un chenal invariable; mais il ne manque pas de canaux d'arrosage fonctionnant, en Lombardie, avec une pente moindre, comme au *Naviglio grande*, dans sa deuxième section; à la Muzza; aux canaux Bereguardo et de Lodi.

La pente des grandes rivières varie entre 6 et 18 millimètres. Le tableau I ci-contre (p. 12), réunit les données de divers observateurs sur la pente et la vitesse de quelques cours d'eau en France.

C'est généralement d'après le débit que se classent les cours d'eau. Ainsi, un cours d'eau qui débite, à l'étiage ordinaire, de 10 à 12 mètres cubes d'eau par seconde, se range parmi les rivières; s'il débite de 30 à 40 mètres cubes, parmi les rivières navigables; et jusqu'à 100 mètres cubes, et au delà, parmi les fleuves.

La Seine, à Paris, sur une largeur moyenne de 230 mètres et une profondeur moyenne de 1^m,50, débite environ 130 mètres cubes d'eau à la seconde; la Garonne, à Toulouse, débite à l'étiage, 150 mètres cubes; la Loire, à Nantes, 176 mètres cubes; le Rhône, à Arles, plus de 600 mètres cubes; le Rhin, à Strasbourg, 950 mètres cubes.

Le tableau II suivant (p. 13), indique, pour un certain nombre de cours d'eau en France, le débit à l'étiage annuel, ou le débit moyen (module), et le débit des crues, selon leurs hauteurs, résultant de diverses notations, avec le nom des observateurs et les dates.

Quoique sur des pentes de 3 à 4 minutes, les cours d'eau cessent d'être navigables, ils peuvent acquérir, en raison de leur profondeur et de leur débit, une vitesse et une force d'impulsion considérables.

Les torrents les plus rapides, dont le lit est continu, entraînant des blocs d'un demi-mètre de côté, ou de diamètre, présentent des pentes de 1 à 2 degrés; tandis que les fleuves rapides, dits torrentiels, tels que le Rhône et le Rhin, n'offrent que des pentes de 1 à 2 minutes, et encore, sur une partie de leur parcours, les pentes se réduisent-elles à 4 et à 8 secondes. A côté de ces fleuves à régime *torrentiel*, la Loire, la Garonne, etc. avec des pentes moindres, sont à régime *mixte*, et la Seine, la Marne, la Saône, etc. de faible pente, sont à régime *tranquille*.

Le régime des crues et leurs effets.

Si les débordements causés par les crues arrivaient aux époques où la submersion peut être sans danger pour les récoltes; s'ils couvraient sans violence des terrains en état de résister à leur action; et s'ils n'entraînaient avec eux que des limons fertilisants, ils ne mériteraient pas moins d'être soigneusement observés, au point de vue de leur régularisation et du régime anormal des cours d'eau.

Malheureusement, les débordements ont lieu le plus souvent sur des fonds de vallée affouillables, entraînant des masses de sables ou de graviers stériles, sous lesquels ils ensevelissent les récoltes, et causent non seulement de graves dommages aux cultures, au bétail, à l'outillage, aux routes, aux habitations; mais encore, ils font de nombreuses victimes.

Les eaux en crue, en dehors des inondations ruineuses ou stériles, ont surtout pour effet de créer des érosions dans le lit et les berges des cours d'eau, de modifier incessamment le lit où ils coulent, et de frayer un passage imprévu à des masses d'eau, animées d'une grande vitesse, dont la puissance est d'autant plus destructive, que la hauteur de chute est plus grande.

Il importe donc, dans l'intérêt général, en vue surtout de l'agriculture, de préciser les effets des courants en hautes eaux, ordinaires ou exceptionnelles, pour déterminer la nature des travaux de conservation et de défense à entreprendre.

Les rivières qui coulent encaissées entre des berges assez hautes, pour ne jamais déborder, même par les crues extraordinaires, sont les plus rares. Celles qui coulent en plaine sur un lit plat et débordent, à la moindre crue, sur une partie de leur parcours, sont les plus fréquentes.

En général, les cours d'eau, resserrés à leur source entre des versants abruptes, quand ils entrent en crue, submergent des surfaces assez étroites; mais, les vallées s'élargissant, ils s'épanchent sur des espaces d'autant plus vastes que leur lit s'est exhaussé davantage. Les berges s'élevant à chaque crue par le dépôt des matières sédimentaires, le niveau des

Tableau I des débits et des crues de quelques cours d'eau en France.

COURS D'EAU	DÉBIT			CRUES		OBSERVATIONS
	à l'étiage		moyen ou module.	Hauteur sur l'étiage.	Volume.	
	minimum.	maximum.				
<i>Seine</i> , à Paris.....	mètres cubes par seconde	mètres cubes par seconde	mètres cubes par seconde	mètres	mètres cubes	(1) Moyenne des observations de Dausse en 1876, et de Michel. (2) Travaux publics. (3) Hervé-Mangon. (4) Saint-Clair. (5) Commiss. hydrom. de Lyon. (6) Moyenne de 4 années (1852-55). (7) Michel. En 1856. Hervé-Mangon. Michel. Hervé-Mangon. (8) Mairrot, en 1875. (9) Michel. (10) Baumgarten, en 1838. Michel. Barral, en 1843. Lechalas. (11) En mai 1856. Surell. Hervé-Mangon.
— à Meulan.....	48	114	130	7.30 (4)	1.800	
— à Elbeuf.....	"	"	"	"	2.228	
— à Rouen.....	"	160	"	"	2.483	
<i>Yonne</i> , à Laroche.....	13	"	"	"	400 (2)	
<i>Marne</i> (3).....	13	77	"	"	"	
<i>Eure</i> (4).....	8	10	16	"	90	
<i>Saône</i> , à Trévoux.....	22	55	464	"	3.400 (5)	
— à Lyon.....			482 (6)	"	"	
<i>Loire</i> , à Nevers (7).....	13	"	"	9.25	4.300	
— à Orléans.....	35	"	"	"	8.865	
— à Tours.....	70	"	"	7.75	10.500	
— à Nantes.....	400	175	"	5.00	6.000	
<i>Allier</i> , à Moulins.....	"	"	"	6.35	"	
<i>Vienne</i> , à Châtellerault.....	40.5	57	"	"	"	
<i>Garonne</i> , à Toulouse.....	36	195	"	8.72 (8)	10.000	
— à Agen.....	"	"	"	9.37 (9)	"	
— à Marmaude.....	37	102	659	8.37 (10)	7.700	
— à Langon.....	"	"	"	13.00	"	
<i>Durance</i> , à Mirabeau.....	72	106	435	6.20	5.000	
<i>Rhône</i> , à Lyon.....	200	460	600	"	"	
— à Vienne.....	300	"	"	"	7.000	
— à Avignon.....	415	"	"	7.83 (11)	13.900	
— à Arles.....	600	700	1.700	"	10.000	
— à l'embouchure.....	"	"	2.000	"	25.000	
<i>Var</i>	"	174	"	"	"	

Tableau II des pentes et vitesses de quelques cours d'eau en France.

COURS D'EAU	PARCOURS kilomètres	PENTE		VITESSE		OBSERVATEURS	
		à l'étiage. mètres par kil.	moyenne. mètres par kil.	à l'étiage. par seconde	moyenne. par seconde		
<i>Seine</i> , Cours entier	560	0.23	0.419 à 0.160 (1)	par seconde		(1) Mille.	
— de Marçilly à Yonne	74	0.18	0.400 (2)	0.65	0.62 (3)	(2) Michel.	
— de Montereau à Paris	98	0.17					(3) B. <i>Journal agr. prat.</i> 1852.
— de Paris à Rouen	243						Léchalas.
<i>Yonne</i> , de la source à Armes	97	0.59		»	»	} Notice Trav. publ.	
— de Armes à Auxerre	76	0.07		»	»		
— d'Auxerre à Laroche	27	0.06		0.47 (4)	1.53		(4) Michel.
— de Laroche à Montereau	92	0.03					Léchalas.
<i>Loire</i> , de la source au Bec d'Allier	429	0.45 à 0.16	0.29				
— de Briare à Nantes			0.39				
<i>Allier</i>	291		0.36				
<i>Cher</i>	284		0.18				
<i>Indre</i>			0.15				
<i>Vienne</i>	83		0.23				
<i>Garonne</i> , Cours entier	400	0.08	0.23		1.20	(5) à Toulouse; Michel.	
— en aval de Toulouse	410	0.18	»	»	0.41 (5)	(6) Michel.	
— de Toulouse à Saint-Martory	84	0.45	0.44 (6)	»	0.80	(7) Baumgarten.	
— en amont de Saint-Martory	163	0.26 (7)	»	»	»	(8) Michel.	
— dans le Lot-et-Garonne	45			»	»	(9) à Lyon, id.	
<i>Rhône</i> , du lac Leman à la mer	522	0.71 (8)	»	»	1.75	(10) à Valence, id.	
— du lac Leman à Lyon	187	0.60	0.55	» (9)	1.20	(11) à Tarascon, id.	
— de Lyon à Beaucaire	287	0.40	0.75	» (10)	»		
— de Beaucaire à Arles	20	0.12	0.29	» (11)	»		
<i>Durance</i>	256	0.20	0.30	»	»		

crues tend à s'élever chaque fois davantage pour surmonter les berges.

Le travail est donc incessant du fait des crues rapides, et le lit, à l'état naturel, subit simultanément deux actions ; l'érosion, qui élargit et approfondit le chenal, et le dépôt de matériaux charriés de l'amont, dont l'emplacement change suivant qu'il offre plus ou moins de résistance au courant.

Comme, d'autre part, la vitesse du courant varie non seulement d'une section à une autre, mais encore d'un point à un autre, dans une même section, la capacité de transport des dépôts n'est pas constante, et les débris deviennent d'autant moins volumineux que la force, du courant diminue.

Erosions et corrosions. — Dans les rivières érosives, en régime normal, mais surtout pendant les crues, les matériaux des roches encaissantes sont abandonnés le long des vallées, dans les dépressions du lit ; les eaux cherchent à se frayer de nouveaux passages jusqu'à ce qu'elles aient trouvé le seuil le plus bas pour s'échapper. On a alors, comme section transversale de la rivière, la figure 3

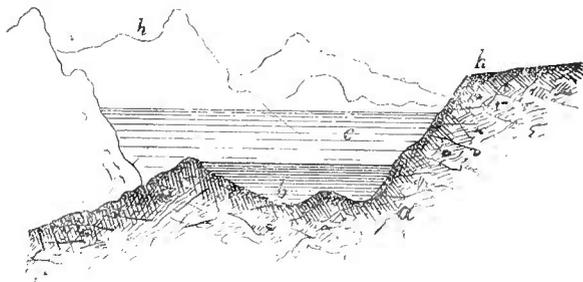


Fig. 3. — Lit d'une rivière encaissée dans une vallée ;
b, alluvions.

dans laquelle *a* indique le relief irrégulier du thalweg de la vallée ; *b*, le dépôt de sédiments, dont la surface est plane, comme s'il s'était formé dans un bassin, et *h h*, le contour des versants de la vallée.

Pendant les fortes crues, les dépôts en lit plat sont souvent remaniés, déplacés, sur des épaisseurs et des surfaces parfois considérables, de façon à former çà et là des îles au milieu du chenal, ou bien des alluvions sur l'une des rives, tandis que l'autre rive se creuse successivement. C'est, en effet, un fait constant d'observation, que s'il y a atterrissement sur une rive, il y a corrosion sur un point peu éloigné de la rive opposée ; le coude produit par cette corrosion rejette le

thalweg sur l'autre rive, qui se corrode à son tour, et ainsi de suite ; c'est une conséquence de la profondeur de l'eau plus grande sur la rive concave que sur la rive convexe.

Dans certaines rivières, comme l'Allier, les dépôts formés par une crue sont souvent emportés par la crue suivante ; le fond est du sable pur ; mais ailleurs, quand ils sont consolidés par des plantes ou des arbrisseaux de croissance spontanée, ils peuvent durer, et alors le changement du thalweg devient permanent.

Les crues, à cause de la résistance inégale des berges, et plus souvent des obstacles qu'elles créent aux courants, déterminent la marche des sinuosités parallèlement à elles-mêmes, jusques vers l'aval.

Ancien et nouveau lit. — Le thalweg de la vallée dans laquelle coule une rivière, ne saurait être confondu avec le lit permanent des eaux courantes. Même dans les montagnes où l'eau s'est creusé une voie d'issue, le débouché offre le plus souvent une largeur plus grande que la section en travers du cours d'eau. Que les obstacles au courant soient fournis par des rochers éboulés, ou par des atterrissements, le lit primitif n'a pas cessé de se déplacer, et le cours devenant tortueux, le lit devient également tortueux dans une vallée pourtant droite.

Il arrive ainsi que le chenal occupant rarement en entier le premier lit que la rivière s'est donné, l'ancien lit, de chaque côté du chenal actuel, est inoccupé ; et à moins d'endiguement, le courant oscille constamment entre les limites du lit total.

Ces considérations ne sont pas sans valeur quand les riverains contestent entre eux la possession des atterrissements ; il n'est pas juste de prendre comme limite, la ligne qui partage le lit total, au lieu de celle qui partage le chenal, au moment du différend. C'est surtout dans les sections en amont des cours d'eau, dans les pays où l'agriculture est avancée, que la transformation du lit acquiert de l'importance. La surface inoccupée est bien souvent multiple de celle où coule l'eau à l'étiage ; les courbes se développent, au point de former des boucles dont les atterrissements rejetés sous un angle indéterminé par les crues, ont pour la culture une valeur qui

les fait justement rechercher. Dans les sections de plaine, au contraire, les terrains d'alluvion peuvent être facilement circonscrits, soit que l'on canalise, ou que l'on endigue, de façon à empêcher les divagations du chenal au delà de certaines limites; d'ailleurs, à la suite des débordements occasionnés par les crues exceptionnelles, le courant étant rentré dans le chenal, les travaux de défense peuvent être réparés et consolidés.

Si l'on considère le profil longitudinal de la section érosive d'une rivière, on constate que la courbe est à ondulations d'autant plus marquées, que le cours est plus sinueux. Les plus fortes dépressions de cette courbe coïncident avec les tournants dus aux corrosions, et les plus fortes élévations, avec les rejets du courant d'une rive sur l'autre.

A l'étiage, la vitesse du courant se ralentit dans les parties déprimées de la courbe, et s'accélère dans les parties exhaussées, à cause des différences de profondeur d'eau; tandis que pendant les crues, le courant s'active aux endroits où la corrosion s'opère. La plus forte pente se mesure en ces endroits, depuis le sommet de la courbe, jusqu'au sommet de l'exhaussement qui suit. C'est le résultat du remous causé par l'action de la force centrifuge et de la résistance de la courbe de corrosion. Plus en aval, la pente diminue, au contraire, à partir de l'exhaussement jusqu'à la corrosion qui suit, en raison du dégonflement des eaux. Il arrive même qu'elle se change en contre-pente.

Ces anomalies de pente, très sensibles dans les périodes extrêmes des crues, disparaissent à peu près dans la période intermédiaire. Pour ce motif, on fixe le zéro de l'échelle hydrométrique des cours d'eau, au niveau de l'étiage, quoiqu'il en résulte l'inconvénient de hauteurs négatives et positives.

Si le débit restait toujours le même, l'équilibre finirait par s'établir sur tout le parcours, puisque, pour un terrain et une inclinaison déterminés, il n'y a qu'une forme de tranche vive, assignant au courant la plus grande vitesse pour la moindre résistance. Dans ce cas, les sinuosités, les hauts-fonds et les bas-fonds, résultant de l'action du courant sur le chenal, conserveraient définitivement la forme acquise, si en temps de crue,

le niveau des eaux montant et descendant, avec une augmentation et une diminution du débit toujours supérieur à celui de l'étiage, le travail d'érosion et de dépôt ne se répétait à chaque crue.

Aussi, quelque stable que soit à l'étiage, le régime d'un cours d'eau, celui des crues est indépendant, et exige des dispositions particulières, qui varient d'après les profils, et la consistance des terrains encaissants.

Corrosions et atterrissements.

Corrosion des berges. — Aussi bien que le lit, les berges se fissurent et se désagrègent par l'action du courant. Tant que le cours d'eau est à l'étiage, la résistance ou l'imperméabilité des berges a une importance secondaire. C'est seulement pendant les crues que la situation s'aggrave, en raison des ruptures latérales que les travaux d'art sont impuissants à prévenir.

Les érosions marchent alors d'autant plus rapidement que la vitesse et la direction du courant s'accroissent, par rapport à la moindre ténacité des matériaux. D'après les observations de l'inspecteur général Minard, certaines rives de la Loire, par exemple, se corrodent annuellement de 10 à 12 mètres, sous l'action des crues ordinaires. Le Rhin corrode jusqu'à 120 mètres de rives par an, tandis que la Seine, près de Paris, en corrode à peine 0^m,50.

Dans le cas peu fréquent où les rivières creusent leurs propres alluvions, les berges s'exhaussent par les crues et les atterrissements descendent en plan incliné, à partir de leur crête. Ainsi, pour le Nil, dans la province de Guirghey, les terres cultivées le long des berges sont de près de 1 mètre plus élevées que celles situées au pied des montagnes limitant la vallée, sur une largeur de 6 kilomètres. Au sud de la province Beni-Souef, où la largeur de la vallée du Nil atteint de 12 à 15 kilomètres, la différence du niveau est comprise entre 0^m,80 et 1^m,20.

Courants des crues. — Lorsque le courant est assez fort pour modifier le lit, les berges et le thalweg subissent, dès le commencement des crues, une perturbation considérable, qui se manifeste à la surface par des remous

et des tourbillons, et, sur le fond, par des mouvements violents, affouillant le sol et créant des passages en ligne droite au flux des eaux.

Les tourbillons sont verticaux ou horizontaux. Les premiers apparaissent dans les anses, à l'entrée des bras, là où la rapidité du courant tend à diminuer; qu'ils soient cylindriques ou coniques, leur effet se produit par un atterrissement dans la partie concave. Les seconds, à axe horizontal, se forment en amont et en aval des obstacles plongés dans la rivière, qui entravent le courant. Si les faces de l'obstacle sont verticales, le fond affouillable se creuse; ou bien, si l'obstacle est lourd et de petites dimensions, il s'enfonce dans le lit sans être corrodé.

Le degré de trouble des eaux en crue influe directement sur le courant principal et sur la situation du thalweg. Aussi, le rayon des courbures augmente proportionnellement à la quantité de matières charriées, pour une portée donnée. C'est que, en hautes eaux, le courant, tendant à se rapprocher de la directrice, attaque les berges sous un angle moins aigu, mais l'action érosive n'est pas moins efficace, et parfois alors le courant se subdivise en plusieurs courants également destructeurs des berges et du fond.

L'apport des eaux troubles des affluents, dans les eaux relativement claires de la rivière principale, détermine des corrosions. Le fond s'exhaussant, et la pente de la section d'amont diminuant, le mouvement tangentiel ou oblique, dû à la force centrifuge, prend le dessus sur celui qui suit la directrice générale du courant; l'érosion s'active sur les berges, et la rivière décrit des courbes. Dans la section d'aval, la pente augmentant, l'effet inverse devrait se produire; mais comme le fond exhaussé n'a pas pu être réduit par le courant principal, celui-ci se partage en un courant direct et un courant oblique qui crée de nouvelles sinuosités dont le rayon est proportionnel à la portée des hautes eaux de l'affluent.

Il n'est pas rare, dans de telles conditions, que les sinuosités se développent sur une zone dépassant jusqu'à vingt fois en largeur celle de la zone primitive. Au confluent d'un cours d'eau tributaire, la direction de la rivière principale peut

dévier complètement, si la capacité du bassin dans lequel se déposent les matières charriées en crue est insuffisante. Au contraire, si ce bassin est assez spacieux, l'affluent en crue peut contribuer à régulariser le courant en aval.

Quand les bassins de dépôt sont trop rapprochés, des ressauts se forment et donnent lieu à des chutes successives dont la somme est plus considérable que la pente moyenne.

D'autres causes accidentelles amènent la dégradation du chenal, telles que les blocs de rocher, les corps inertes, les glaçons, etc.; transportés par les tributaires à l'état torrentiel. Ces obstacles concourent, par des séries de chocs répétés, à la corrosion des berges.

Atterrissements. — Pour être complète, l'étude des crues implique celle des atterrissements qui jouent un rôle si important, comme nous l'avons montré, dans la stabilité du régime des cours d'eau.

La plus grande masse des matières sédimentaires est fournie à l'amont. Les blocs de moindres dimensions, détachés du fond et des rives encaissantes, se heurtent pendant le transport, sous l'action de la vitesse acquise des eaux, se frottent entre eux et contre les parois solides, perdent leurs angles et leurs arêtes, et finissent par constituer ces cailloux roulés ou galets qui recouvrent les terrains, au pied des gorges, et forment ces amas, à travers lesquels le cours d'eau serpente en changeant de lit, à chaque crue torrentielle.

Les cailloux de plus petites dimensions, entraînés à leur tour par les hautes eaux, brisés et moulus par le roulis, deviennent des graviers, des sables, des limons, qui cheminent au loin jusqu'à l'embouchure; une partie est restée en route, selon les obstacles qui exhaussent le lit ou les berges, ou s'étend sur la plaine, en raison des vitesses du courant des crues. Les dépôts qui ne sont pas fixés continuent à avancer, utilisant la force motrice, jusqu'à la mer; ils forment des lais, des relais, des deltas plus ou moins vastes, que les courants marins maintiennent ou dispersent.

Dans le remaniement incessant du lit, par l'apport des matières des crues, on observe parfois des effets analogues à

ceux que produisent les vents sur les dunes de sable, le long des côtes. Des buttes se déposent en travers du courant; les matières s'entassent derrière ces buttes et constituent des talus successifs d'éboulement, qui donnent aux dépôts la structure représentée en A (fig. 4). Si la rivière vient à changer de régime, sous l'influence d'une crue exceptionnelle, la butte se nivelle et la surface ondulée se transforme en une surface plane, couvrant des strates régulières, comme en B.

C'est surtout dans les atterrissements



Fig. 4. — Structure des dépôts d'entraînement dans les rivières.

des berges, et dans les deltas ravinés par les eaux, que l'on observe les contrastes entre les dépôts rapides et les dépôts tranquilles. La masse sédimentaire est constituée par des assises à surface courbe, dont les débris ont une grosseur,

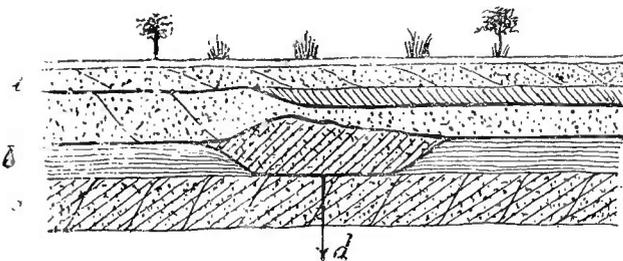


Fig. 5. — Structure observée dans les atterrissements des rivières.

une couleur et une structure différentes, soit dans la direction du courant normal, comme en *a* et en *b* (fig. 5); soit dans celle du contre-courant, comme en *c*; ou enfin, par des amas informes de gros graviers et de résidus organiques, comme en *d*.

On retrouve ces atterrissements entre les bras d'une même rivière, derrière les obstacles permanents, tels que les estacades, les épis, les piles de ponts, etc.

La variation du courant des crues, suivant que les matières diffèrent comme poids et comme volume, fait que les strates comprennent du sable plus ou moins fin, en mélange avec du limon et de l'argile, ou sans mélange, et alternent avec des galets, dans les rivières qui en charrient. La stratification apparaît net-

tement à l'attaque des berges par les eaux en crue. Après un certain parcours dirigé dans le sens du courant d'attaque, on peut reconnaître le maximum d'effet au point culminant qui forme le dos de l'alluvion.

En examinant un atterrissement de récente formation, dans la Loire, à la Roche-Saint-Bernard, Lyell y décelait la présence du gneiss, qui constitue la roche encaissante sur ce point, en couches alternant, tantôt avec du mica et du sable fin quartzueux, tantôt avec du limon argileux, laissés par les érosions en amont. Dans les crues du Pô, on arrive ainsi à distinguer, non seulement les alluvions entre elles, mais encore les alluvions produites pendant les périodes d'une même crue.

La loi qui règle la relation entre les atterrissements et l'exhaussement du lit des cours d'eau a été établie par l'hydraulicien Guglielmini.

Si un cours d'eau jouit d'une pente telle que le lit puisse se creuser naturellement, l'affouillement se poursuit jusqu'à ce que l'excès de pente disparaisse. Si la pente initiale ne suffit pas pour charrier les matières sédimentaires, elles se déposent, et la pente du lit augmente jusqu'à ce que la vitesse du courant s'accroissant, le dépôt cesse. C'est à cette condition que le cours devient stable.

Aussi, malgré l'apport continu de matières, le lit ne s'exhausse pas, parce qu'elles diminuent de plus en plus comme volume et comme poids, de manière à pouvoir être entraînées, à l'état de sable ou de limons, par la pente. La masse des matériaux restant la même, la pente du lit s'affaiblit d'autant plus que la portée des crues et leur pérennité augmentent.

Cette loi a été vérifiée par les observations des ingénieurs Lombardini sur l'invariabilité, depuis des siècles, du lit du Pô, et Giorgini, sur la fixité du lit de l'Arno, en dépit des crues périodiques et extraordinaires de ces fleuves.

Aux corrosions des rives et aux sinuosités résultant des atterrissements, la nature a assigné une limite, par le jeu des courants qui arrêtent leur développement continu.

Ainsi, quand les atterrissements constituent en aval une dérivation du chenal primitif, ils sont coupés ou détachés par

le flot des eaux en crue. Les îles formées de la sorte dans le lit même, pour peu que le courant demeure assez fort après la retraite des hautes eaux, finissent par se souder à l'une des rives; ou bien, les alluvions se dépriment devant la rive corrodée, aux points où le lit est plus profond, et le chenal se rétablit.

En aval de l'embouchure de l'Adda, jusqu'à celle de l'Oglio, le Pô présente un grand nombre d'îles ayant la forme d'une

coque de navire renversée; elles sont arrondies du côté d'amont où prédominent les sables, et épointées à l'aval où domine le limon argileux. La couche supérieure est du sable recouvrant l'argile et le limon vaseux; la couche intermédiaire (*mortizza*), quand elle est mise à nu, dans les anciens lits, se colmate difficilement et reste à l'état marécageux, à moins que l'on endigue.

II

TRAVAUX DE CONSERVATION DES COURS D'EAU

Les cours d'eau, différant les uns des autres par leur régime, ne sont pas susceptibles d'être soumis à un même système d'améliorations. On peut toutefois énoncer quelques principes applicables à la plupart des cas.

Ainsi, tout système doit s'étendre progressivement depuis la source jusqu'à l'embouchure. Le débit en amont doit se régulariser de façon à être réparti sur tous les mois de l'année. Le chenal doit être rendu assez vaste, non seulement pour enlever les eaux pluviales, mais encore pour écouler les eaux de drainage du bassin desservi, sans causer de débordements. Enfin, l'émissaire doit être assez spacieux, assez dégagé, pour que les crues se déversent sans obstacle, en quittant le réservoir naturel qui leur a été ménagé, et si l'émissaire est dans la mer, pour que la marée basse remonte aussi haut que possible, sans ressauts.

En dehors de ces principes généraux, qui comportent des travaux d'ensemble dont la réalisation, en recourant aux départements et à l'Etat, est plus ou moins longue et difficile, il y a une série d'ouvrages économiques dont les agriculteurs, les propriétaires et les syndicats peuvent prendre l'initiative pour régulariser et améliorer les cours d'eau à pente rapide, en se protégeant contre les crues qui entraînent non seulement les récoltes, semences et fumiers, mais aussi la plus

grande et la meilleure partie de la couche végétale.

Lorsque les corrosions sont régulières ; c'est-à-dire quand les enlèvements du sol se font parallèlement à la direction du courant principal, les ouvrages destinés à préserver les berges et les cultures sont purement conservateurs. Quand, au contraire, elles se produisent par arrachement à pic, sur des hauteurs plus ou moins grandes, ou par des creusements sinueux et irréguliers, les ouvrages sont défensifs.

Pour conserver les rives, les travaux les plus usuels consistent en plantations, en clayonnages, en fascinages et en enrochements ; pour les défendre, ils comprennent des revêtements, des muraillements, des épis ou jetées et des digues.

Le régime des cours d'eau à l'étiage et en crue, la nature du sol des berges et du lit, l'abondance et le prix des matériaux et de la main-d'œuvre locale, déterminent le choix des moyens employés pour conserver et défendre les rivières. Dans les cours d'eau torrentiels de l'Auvergne, des Pyrénées, du Dauphiné, de la Savoie, etc. on a surtout recours à des enrochements ; ailleurs, dans les vallées moins déclives, aux plantations et aux clayonnages, ou à des talus gazonnés. En Lombardie et sur le Rhin, on emploie les fascines et le gravier ; en Hollande, les fascines, les paillassons et la terre grasse.

Les corrosions accidentelles suscep-

tibles de disparaître, quand on détruit la cause qui les produit exigent :

1. Des revêtements, pour détruire le frottement latéral et les mouvements de surface des courants en crue.

2. Des défenses sous l'eau pour reconstituer les berges détruites ; ces ouvrages, dont l'inclinaison est variable selon les circonstances, s'établissent en fascinages ou en enrochements, tant que l'affouillement n'est pas trop profond.

3. Des épis ou jetées, quand l'affouillement est profond, de manière à déplacer les atterrissements, pour forcer le cours d'eau à déposer les matières dans les parties attaquées.

4. Des contre-digues, placées à l'abri des corrosions, pendant au moins quelques années, de manière à ce que les changements du thalweg n'amènent pas le courant à leur pied. Ces contre-digues comportent parfois, pour leur exécution, des estacades, ou des bâtardeaux en fascines, contre lesquelles on pilonne de la terre grasse.

5. Des travaux de redressement des rives, quand elles sont attaquées trop violemment par des affouillements de fond.

Nous examinerons successivement ces travaux, tels qu'ils sont exécutés en France et à l'étranger, pour l'amélioration partielle des cours d'eau. On les combine le plus souvent, de façon à tirer le meilleur profit des matériaux dont on dispose.

Plantations.

Les plantations constituent un des moyens les plus simples et les plus lucratifs, à la fois, de fixer, par l'entrelacement des racines des arbres et des arbrisseaux, les rives peu escarpées, les talus et les lais des cours d'eau.

L'aune, les saules, l'osier, et dans le Midi, le tamaris et le mûrier à papier, tous arbres qui réussissent sur les terrains sableux, recouverts par le limon, et humides, s'adaptent particulièrement aux plantations. Les peupliers conviennent surtout pour protéger les haies vives et fortifier les terrains érosifs.

L'aune de plusieurs variétés, principalement l'aune glutineux (*Alnus glutinosa*), croît très rapidement jusqu'à l'âge de quinze ans ; mais son accroissement en épaisseur n'est pas proportionné à celui

en hauteur ; après cette période, il se ralentit. Selon la nature de l'alluvion, le développement et la disposition des racines diffèrent. Si l'alluvion, meuble et peu profonde, est très humide, les ramifications des pivots de racines restent courtes et moins épaisses, tandis que celles des racines latérales se multiplient et s'étendent horizontalement à une faible profondeur, de façon à former un feutrage intérieur très résistant.

Très facile à multiplier par boutures de branches ou de racines, par éclats de vieilles souches et par graines de semis, l'aune ne dure pas longtemps, quand il est exposé alternativement à l'action de l'humidité et de la sécheresse ; mais dans l'eau sa durée est longue.

Son bois, jouissant de cette propriété au même degré que celui du chêne, le rend très propre aux constructions hydrauliques. C'est, du reste, un combustible excellent, mais plutôt pour le chauffage que pour l'évaporation. A poids égal, son charbon possède un effet calorique égal à celui du hêtre. Son écorce renferme autant de tannin que celle des meilleurs chênes, 16 0/0 environ. Les cendres sont riches en potasse ; un septième environ de leur poids. Enfin, le bois d'aune, débité surtout pour les ouvrages qui plongent dans l'eau ou demeurent submergés, est également recherché dans l'ébénisterie et la tabletterie, en raison de la facilité avec laquelle il prend et retient le noir.

Les saules blancs (*Salix alba*) de plusieurs espèces, croissent non moins rapidement que l'aune. Après douze ans, ils atteignent jusqu'à 15 et 18 mètres de hauteur, avec des troncs de 0^m,50 à 0^m,60, quand ils ne sont pas soumis à la taille. Leur multiplication est des plus simples, puisqu'elle consiste à enfoncez une branche de 3 mètres environ de longueur, dans un trou fait au pieu, et à combler avec de la terre meuble. Ils prospèrent dans les alluvions des cours d'eau, et s'exploitent pour les branches longues, droites et unies qu'ils développent sur leur tête, tronquée périodiquement. Les arbres mis ainsi en coupe réglée, tous les trois ou quatre ans, s'épaississent et s'élargissent considérablement à leur extrémité supérieure et deviennent par là des tétards.

Le bois du saule blanc est tendre, léger et blanc. Les perches qu'il fournit

ont un grand nombre d'usages variés. Comme combustible, il est médiocre, brûlant vite et donnant peu de calorique. L'écorce est riche en tannin; elle sert au tannage, à l'extraction du fébrifuge, la salicine, à la teinture, à la préparation de terreaux pour la culture de certaines plantes délicates, etc.

La culture du saule blanc sur les berges à consolider est très avantageuse, tant à cause du développement rapide, que de la qualité des perches.

L'osier vert (*Salix viminalis*), cultivé dans toutes les régions de l'Europe centrale, à proximité des rivières et des lacs, à cause de ses longs rameaux flexibles, qui constituent l'osier commun des vanniers, et des liens employés pour les récoltes et les plantes, est remplacé avantageusement par l'osier pourpre et rouge

(*Salix purpurea et rubra*) de différentes variétés, dans les alluvions sablonneuses. L'osier fourni est plus estimé et se développe plus vite; il s'exploite chaque année et donne un produit considérable. Certaines espèces atteignent, au bout de dix ans, une hauteur de 4 mètres.

Le tamaris (*Tamarix gallica*), du midi de la France, croît vigoureusement et atteint de 4 à 5 mètres de hauteur dans les sables limoneux humides. On le multiplie, au mois de mars, par des boutures. Son bois, très bon pour le chauffage, fournit par sa combustion des cendres riches en sels de soude.

Le mûrier à papier (*Broussonetia papyrifera*) est bien moins répandu que le tamaris, à cause de son importation plus récente. Il s'élève jusqu'à 10 mètres, mais sa racine trace beaucoup et donne

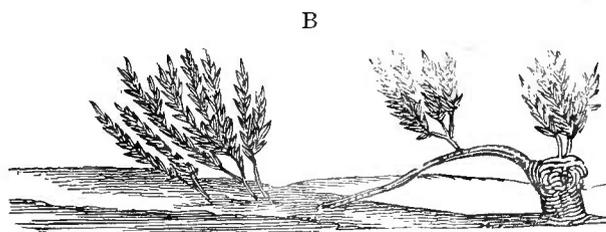
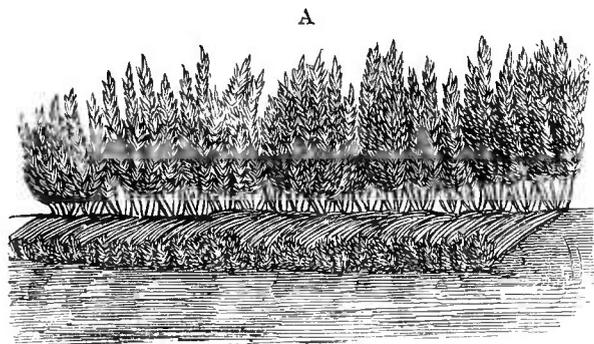


Fig. 6. — Haie d'osier vivace; A, élévation; B, marcottage d'osier.

une infinité de rejets qui s'enchevêtrent dans les sables. Très rustique, il se multiplie par marcottes et par boutures: son nom spécifique lui vient de l'usage que l'on fait de son liber, en Chine et au Japon, dont il est originaire, pour la fabrication du papier et des étoffes.

Parmi les nombreuses variétés de peupliers, ce sont les variétés noires et d'Italie (*Populus nigra et italica*, ou *pyramidalis*), qui s'accommodent le mieux des terres sablonneuses, humides ou fraîches, le long des cours d'eau, et croissent avec une rapidité presque incroyable. Le peuplier d'Italie atteint jusqu'à 35 mètres de hauteur, avec une épaisseur de 0^m,60 à 0^m,80 au tronc, dans l'espace de trente à quarante ans. En revanche, comme l'aune, il dure peu, quoique à l'âge de quinze ans il soit déjà propre aux usages auxquels on le destine. Il se multiplie aisément au moyen de ses rejets.

On emploie le bois de peuplier, scié en poutres et en planches, dans la charpente des maisons. D'une longueur et d'une rectitude remarquables, ces bois fléchissent

facilement, à moins d'un très gros équarrissage, et durent peu; mais aussi, ils coûtent peu. Ils servent également dans la menuiserie, la layetterie, etc. Comme combustible, il donne peu de chaleur, 70 0/0 environ de celle que fournit le hêtre, et la braise se consume aussitôt.

Les talus des berges que l'on veut planter avec les essences qui viennent d'être décrites, doivent avoir, pour le moins, 2 mètres de base sur 1 mètre de hauteur et se prolonger en pente douce jusqu'à la rencontre du lit du cours d'eau. Lorsque le pied des talus n'est pas solide, la première opération consiste à le renforcer par des enrochements, ou des fascinages.

Les alluvions et grèves doivent être préalablement circonscrites, fixées et défendues, par le marcottage des osiers (fig. 6), ou par des boutures d'osier que l'on protège contre l'action du courant à l'aide de haies d'arçons en saule, installées de place en place, en sens oblique. Derrière les haies d'arçons, les sables et les limons continuent à s'amonceler. La figure 7 montre en A, une installation de

ces haies, et en B, le détail de l'une d'elles, après dressage.

Dans les talus, l'aune ne s'emploie pas avec le saule-osier, car devenu rapidement trop fort, il l'étoufferait. Le saule rouge et son osier forment les meilleures haies vivaces; le bois du saule provient

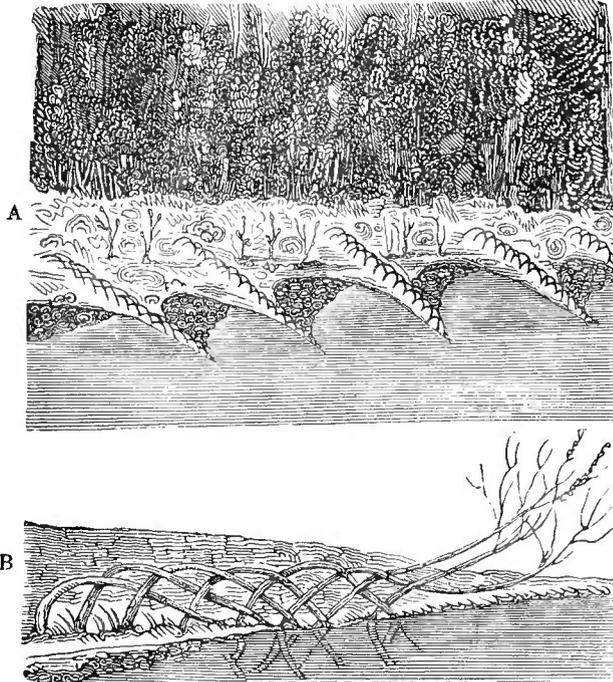


Fig. 7. — A, Haies d'arçon pour la défense des rives
B, détail d'une haie.

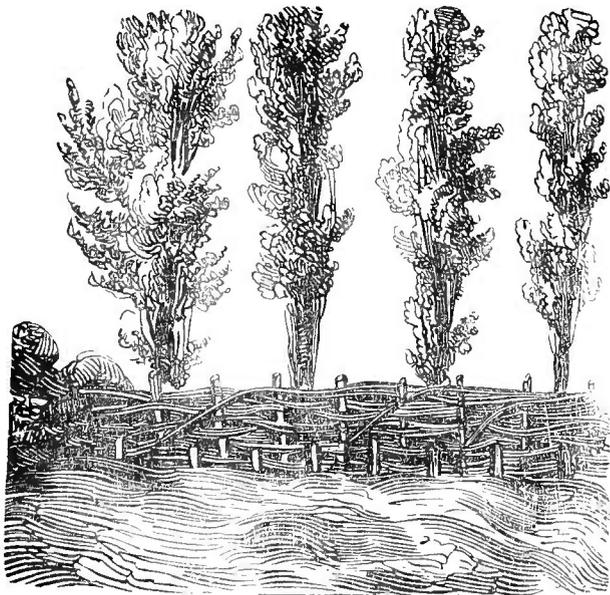


Fig. 8. — Claie vivace en saules et osiers,
avec pieux en chêne.

du bottelage de cinq à six ans, et l'osier, de luisettes coupées à la troisième année. Les rejets de saule sont assez longs pour pouvoir pénétrer de 0^m,40 à 0^m,60 dans le sol, et dépasser la claie de 0^m,30 en hauteur; on les choisit de 0^m,25 à 0^m,30 de circonférence.

En outre, pour la défense du terrain, on plante, s'il y a lieu, aux endroits me-

nacés, des gaules ou piquets, de 0^m,15 de pourtour, fraîchement coupés, en saule qui reprend, ou en noisetier flexible. A leur défaut, des gaules en chêne dur et résistant sont préférables à celles de charme, ou de frêne.

L'endiguement s'exécute dès lors, en creusant avec un pieu ferré, pour un écartement de 0^m,70 à 1 mètre, le long du talus, des trous où l'on plante les gaules par le gros bout, de façon à pouvoir les incliner et les tresser dans la direction du courant. Contre le premier cordon de piquets ainsi disposé, on tasse la terre, et l'on procède à l'installation d'un second cordon, en piquant sur la rive, les branches d'osier que l'on enlacera dans la claie. On consolide par des gaules, conduites les unes devant, les autres derrière, chaque piquet, dans le sens de l'eau, afin que les entrelacements soient successifs.

La claie ainsi faite est ébroussée à la serpe, rafraîchie aux extrémités tournées vers le couchant, pour éviter la pourriture, et plus tard fortifiée, au cas où les affouillements seraient à craindre, en temps de crue.

Le renforcement consiste à planter en avant, entre chaque piquet, des pieux en aune ou en saule, d'une hauteur égale à la moitié de celle des claies. Au bout de quelques années, les racines s'étant entrecroisées et formant une digue vivace, on plante les aunes ou les peupliers, à 0^m,50 les uns des autres, et à 0^m,50 de distance en arrière de la digue, à l'aide de plançons de 0^m,40 de longueur, choisis sur les sujets élagués l'année précédente. Enfin, on enclôture la plantation, pour la mettre à l'abri de la dent des bestiaux, par des barrières ou des haies vives (fig. 8).

En rompant les courants, et en rendant l'eau presque stagnante à leur pied, les digues vivaces provoquent les atterrissements et par conséquent leur extension. La figure 9 indique un spécimen de rive défendue par des plantations de saules, avec rejets piqués, afin d'augmenter le fourré.

Sur les bords de l'Allier et de la Loire, de grandes étendues de terrains ont été gagnées à la culture, et des îles ont été réunies aux rives par des plantations d'oseraies. Quand les alluvions sont déjà à un niveau assez élevé, on plante en novembre; mais si elles sont trop basses, il

ne faut pas attendre aussi longtemps. En effet, l'osier planté en boutures forme des racines qui peuvent vivre sous l'eau, tandis que s'il n'a pas encore formé ses racines, il périt infailliblement pendant la submersion.

La plantation par un trou à la barre est un moyen expéditif, quoique pas toujours très sûr; il vaut mieux pratiquer une petite fosse de 1 mètre carré, à la pelle, jusqu'à la couche d'eau, et placer à chaque angle un brin d'osier avec ses rameaux, puis combler. Les rameaux enfouis consolident la plante et lui donnent la force de résister au courant.

Sur la Loire, les luissettes des oseraies donnent, après trois ans, des coupes déjà

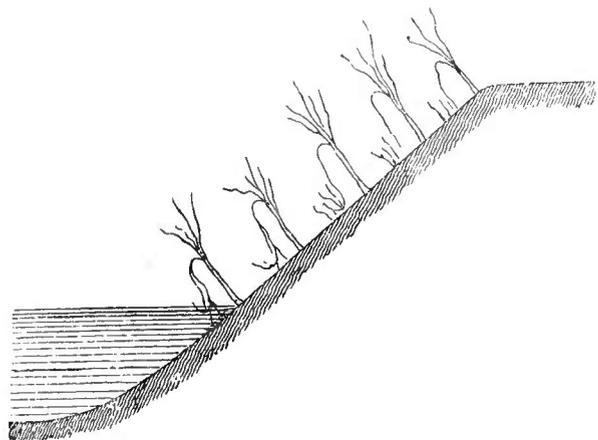


Fig. 9. — Plantation de saules sur berge.

très productives. Quand le sol exhaussé est à l'abri des hautes eaux, et que les oseraies sont privées de l'humidité indispensable, elles font place à des prairies, ou à des terres labourables. La plupart des îles de ce fleuve, connues par leur grande fertilité, n'étaient que des grèves stériles, avant les plantations et les oseraies.

Les plantations ne servent pas seulement à consolider et à conserver les berges, mais encore à fixer le lit mobile des cours d'eau.

Parmi les affluents de la Seine, coulant sur des terrains imperméables, et dont le cours est plus ou moins torrentiel, le Serein, un des plus violents, ne déplace plus son lit, depuis que ses berges sont défendues par de larges plantations. Dans le bassin de l'Yonne, la crête des berges, des torrents les plus dangereux est fortifiée par une double, et même par une triple rangée d'arbres, grands et petits. Les aunes, les saules, les peupliers, sont plantés, dans les intervalles qu'ils laissent entre eux, au moyen d'une variété d'osier (*pressin*), formant une ligne

continue de buissons épais, dont les branches enchevêtrées et les racines opposent une résistance absolue aux érosions des crues les plus fortes.

Toutefois, les rives concaves des tournants ne peuvent être défendues par des arbres; il faut alors des enrochements, et souvent des digues; mais, une fois les rives ainsi fixées, le fond l'est également, en raison de l'absence de sables et de graviers qui font varier le profil du fond mobile. Sur l'Armançon, une des rivières torrentielles du bassin de l'Yonne, les plantations ayant manqué sur les berges des tournants, le lit est redevenu aussitôt mobile; il a fallu endiguer.

L'ingénieur russe, Palabine, a préconisé en conséquence la méthode, applicable au Volga, qui consiste à planter solidement les rives convexes, et à endiguer seulement les rives concaves, pour guider le courant, en vue de créer un thalweg régulier.

Clayonnages.

Dans les cours d'eau peu profonds, dont les berges, sapées par la base, sont corrodées par tranches qui s'éboulent successivement, les clayonnages sont appelés à rendre de bons services.

Les directions des clayonnages ayant été tracées parallèlement à l'axe du courant, en alignements, ou en courbes d'assez grands rayons, on place les clayons en avant du pied des berges à conserver, en ayant soin de les enraciner fortement, surtout à l'amont, dans le terrain solide; sinon, dans des tranchées que l'on comble avec du gravier pilonné, pour empêcher les eaux de pénétrer derrière l'ouvrage.

Les clayonnages dont on veut assurer la durée, doivent se faire avec des pieux, provenant autant que possible de bois résistant dans l'eau, par exemple, l'aune, le saule, le chêne, que l'on plante obliquement par le gros bout, en automne, ou au commencement du printemps, afin qu'ils prennent racine et végètent quelque temps.

Quand le courant est très puissant, le clayonnage se pratique en double; c'est à-dire, qu'on place un second rang de pieux de 0^m,50 à 1 mètre, en arrière, sans donner aucune inclinaison. L'espace compris entre le premier clayonnage oblique et le second vertical, étant plus large en bas qu'en haut, on le charge de

gros gravier ; en même temps que l'on porte le remblai de terre sur la berge, au même niveau. On complète l'ouvrage en

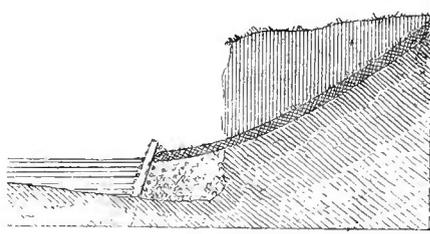


Fig. 10. — Clayonnage simple d'une rive à pic.

reliant, de distance en distance, les têtes des pieux des deux clayonnages par des traverses en grosses branches, fixées à

l'aide de barres, de chevilles, ou de crosettes solides.

La figure 10 représente la section trans-

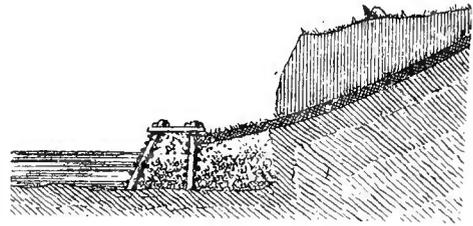


Fig. 11. — Clayonnage double d'une rive à pic.

versale d'une berge corrodée à pic (indiquée par des hachures verticales), avec un clayonnage simple, et le talus de remblai

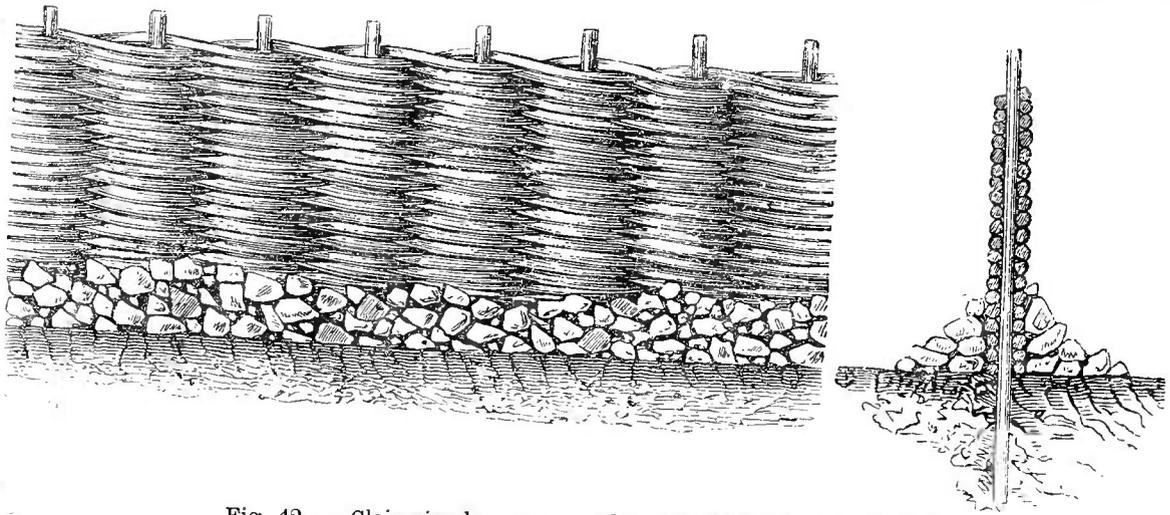


Fig. 12. — Claie simple avec enrochement, (Élévation et coupe.)

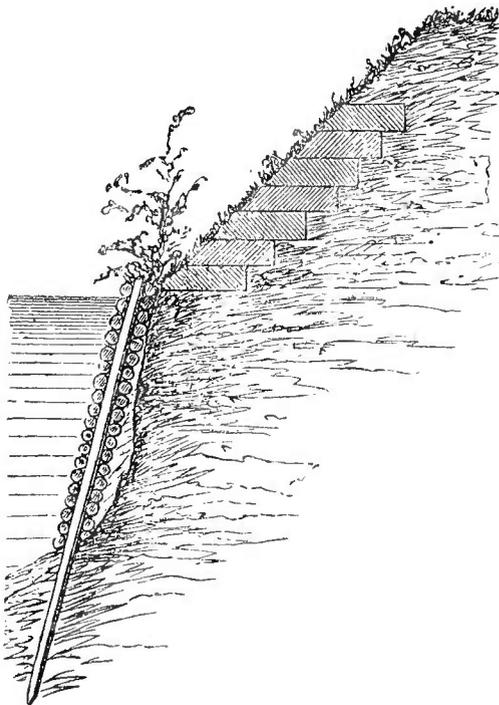


Fig. 13. — Clayonnage simple sur berge, surmonté d'un revêtement en pierres, avec gazon.

(indiqué par des traits obliques). Dans la figure 11, le clayonnage est double, avec les mêmes indications pour la berge et le talus.

Lorsque les cours d'eau sont sinueux, les coudes qui reçoivent les clayonnages sont souvent larges et profonds, et les terres des berges ne suffisent pas toujours pour

remblayer. On se borne alors à jeter du gravier, des pierrailles, des briques cassées, etc. en arrière du second rang de clayons, et l'on ménage, comme le recommande Polonceau, au niveau des eaux moyennes, des buses en bois avec clapets, traversant les clayonnages, afin d'admettre dans les vides qui subsistent les eaux des crues, chargées de sable et de limon (1).

Pareto a appliqué avec succès un système de clayonnage consistant à enfoncer à la masse, des pieux espacés de 0^m,80, dans la direction primitive de la berge corrodée, et à clayonner avec des branches de chêne ou de hêtre. Derrière la claie ainsi formée, l'espace vide est rempli d'abord de pierres, puis de gazons fortement pilonnés, et planté en saules que l'on étête à la troisième année (2).

Sur les rives des cours d'eau, en montagne, les clayonnages longitudinaux, tels qu'ils sont exécutés par les forestiers, sont à un, ou à deux parements, reliés entre eux par une longrine horizontale.

Deux sortes de piquets sont employés : les piquets en bois dur résineux, tel que le mélèze, et les plançons de saule, susceptibles de végéter. Ces piquets sont tressés au moyen de branches de saule, approvisionnés par bottes ou fascines, de 3 mètres de longueur sur 1 mètre de tour. Les branches proviennent des rejets de 2 à 4 ans, coupés quelques jours avant l'emploi. En avant du parement clayonné, on plante solidement de forts piquets, dépassant le sol de 0^m,80, que l'on relie à une longrine de mélèze, joignant les piquets aux clayons, au-dessous du couronnement, afin d'augmenter la résistance à la poussée des atterrissements.

Le pied est défendu par de plus petits clayons de 0^m,50 et un petit enrochement. Ces clayonnages ont un fruit de 5 à 10 0/0 à l'arrière.

Dans les rivières tranquilles, de simples claies, indiquées par la fig. 12, en élévation et en coupe, faites en pieux de bois résineux, de 0^m,05 à 0^m,10 de diamètre, tressés fortement, et enrochés au pied, des deux côtés, sont regardées comme suffisantes.

Des clayonnages, fréquemment usités

(1) Polonceau. *Des eaux relativement à l'agriculture*. p. 85.

(2) Pareto. *Irrigations et assainissement des terres*, II.

en Allemagne, sont représentés, en coupe et en élévation (figure 13). Les pieux en bois de saule sont espacés de 0^m,50 et plantés en temps utile pour pouvoir végéter. Au-dessus de la ligne des eaux moyennes, la berge est empierrée, en continuation du clayonnage, et le couronnement est gazonné.

Pour protéger les berges marneuses de la Dove, un des affluents rapides de la Trent, et prévenir les atterrissements considérables que causent les crues dans tous les coudes d'érosion, on a recours à un système de clayonnage, dit *flitering*. Il consiste à établir, à partir du fond même de la Dove, pendant les basses eaux, des retraites ou risbermes, à l'aide de clayons de roseaux et de fagots, liés ensemble. On les superpose au moyen de crocs, et on les consolide par des pieux en parement, plantés à une distance de 2 mètres les uns des autres, entrelacés par des branchages. Finalement, on remblaye avec de la terre qui porte le niveau du clayonnage jusqu'à celui de la berge.

Fascinages.

Dans beaucoup de localités, le bois et la pierre sont rares, ou bien, ils coûtent fort cher de transport, surtout en amont des vallées. On a recours alors, pour protéger les rives des cours d'eau, à des fascines, ou paniers remplis de graviers, de matériaux en fragments, et même de terre grasse.

Dans les pays du Rhin, on emploie de préférence les graviers, dans des paniers qui ont de 4 à 5 mètres de longueur, sur un diamètre de 0^m,80. Dans les pays du Pô, en Lombardie, les paniers, de même

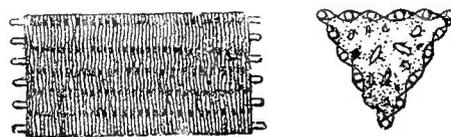


Fig. 14. — Panier de graviers en prisme triangulaire.

diamètre, pour une longueur de 4 mètres seulement, sont chargés de gravier et d'argile.

Les fascines, de forme triangulaire ou cylindrique, déprimées aux deux extrémités (fig. 14 et 15), font office de blocs de pierre; comme elles sont sans arêtes, elles exigent que les talus aient une

plus grande pente que les enrochements, par exemple.

Fabriquées avec des branches de saule, de bouleau, de charme, ou de hêtre, que lient trois ou quatre harts, les fascines sont placées par lits que maintiennent des piquets, ou bien, debout et enlacées par des clayons. On les charge, de même

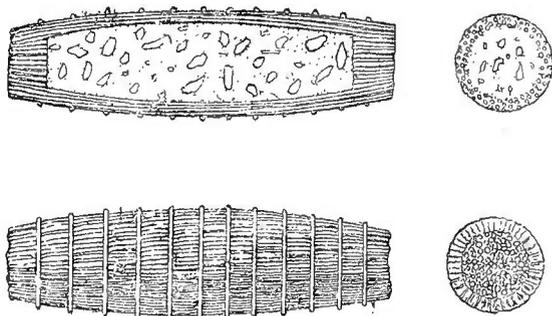


Fig. 15. — Panier de gravier en saucisson.
Elévations et coupes.

que les intervalles laissés entre elles, au moyen de galets, de graviers, de terres branches et de sable, qui font prise ensemble.

Sur les bords du Rhin, on couvre les

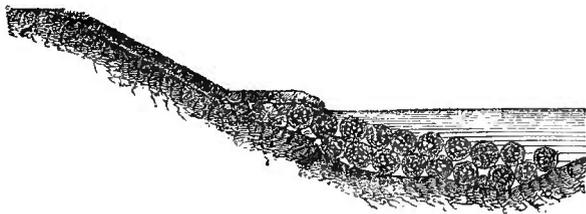


Fig. 16. — Fascinage de berge avec revêtement en pierres au-dessus de l'étiage.

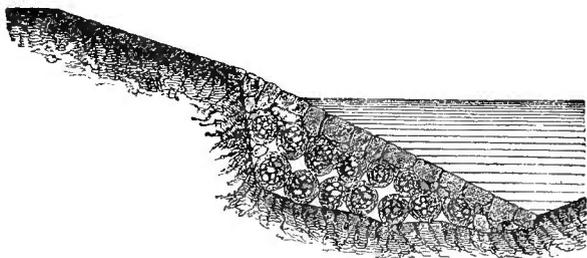


Fig. 17. — Fascinage de berge avec revêtement complet en pierres.

paniers échoués, par des blocs de pierre de 5 à 6 décimètres cubes; les talus ont 3 de base pour 2 de hauteur. Les figures 16 et 17 représentent le mode appliqué en Allemagne. Dans un cas, les fascines ne sont recouvertes de pierres qu'à partir de l'étiage et forment banquette; les pierres revêtissent le talus supérieur. Dans l'autre cas, elles sont entièrement recouvertes, en raccordement avec la berge empierrée.

Dans les ouvrages du Bas-Pô, la pierre faisant défaut, les talus en fascines ont 4 et 5 de base pour 2 de hauteur. En Vénétie, pour la régularisation de l'Adige, on a recours aux *volpare*. Ce sont de simples mottes de terre grasse, liées par de la paille, ou du foin, en forme de prismes allongés, de 0^m,70 de longueur, sur 0^m,35 de hauteur. On les emploie, comme les sacs de terre, ou *gabions*, afin d'asseoir sous l'eau l'empattement des digues, des épis, des estacades, etc.

Les fascinages jouent le principal rôle en Hollande, où les pierres manquent absolument, pour le revêtement des ouvrages des cours d'eau.

Le fascinage le plus simple d'une berge est représenté, vu de côté et de face, dans la figure 18.

Les matériaux qui servent en Hollande

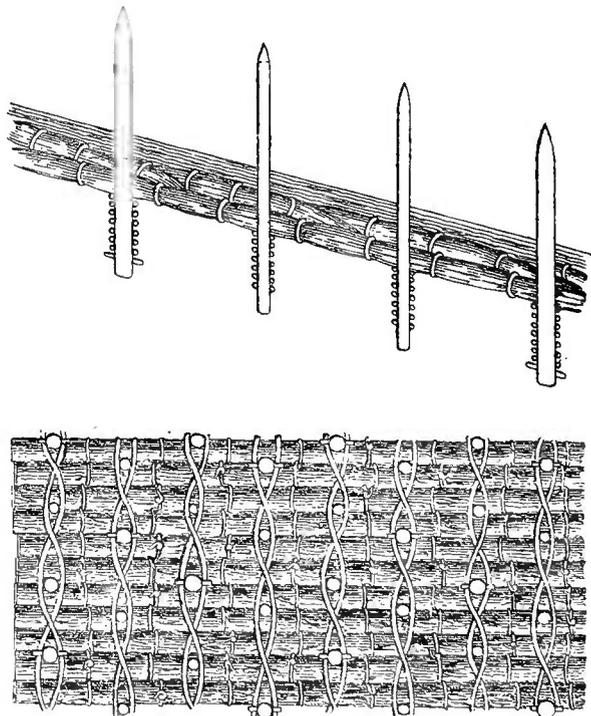


Fig. 18. — Fascinage simple de conservation de rive (Hollande).

à tous les travaux des cours d'eau consistent en :

1° *Harts*, ou brins d'osier, récoltés dans l'année, d'une longueur de 1^m,10 à 1^m,20;

2° *Piquets*, d'une longueur de 1^m,20 à 1^m,50, sur une épaisseur de 0^m,15, au gros bout;

3° *Fascines*, en branches de saule, réunies par deux ou trois harts : longueur, 3^m,50; circonférence à la deuxième hart, 0^m,20;

4° *Saucissons*, ou longues fascines, cylindriques; 0^m,35 de diamètre, serrées

par des harts distantes de 0^m,25 à 0^m,50 ;

5° *Clayons*, en branches de saule, solides, épointées ;

5° *Tunages*, fabriqués avec des piquets que relie des clayons, ou des tressages en paille de roseaux. Les tressages sont à plusieurs brins, en nombre déterminé. Les roseaux, coupés en panicules, sont liés par bottes de 2 mètres de longueur, sur 0^m,50 de tour ;

7° *Lest*, formé de sable, de gravier, de pierrailles, de briques cassées et de terre glaise (1).

Si la corrosion des berges ne s'opère qu'en temps de crue, c'est-à-dire au-dessus de l'étiage, le talus étant préparé pour recevoir les fascines, on les dispose par lits de 0^m,20 d'épaisseur, la tête tournée du côté des terres, et les branches, du côté de l'eau. Les plus grandes fascines, à trois harts, forment les lits inférieurs, en retraite l'un sur l'autre, que fixent trois rangs de piquets de 1^m,20 de longueur, et d'une saillie de 0^m,20 environ. Les têtes des fascines sont enlacées par des clayons. Chaque lit est arasé, en outre, au niveau des clayons, avec du lest bien fortement damé. Les talus ainsi établis en gradins sont à 0,33 de base pour 1 de hauteur.

Quand la corrosion se fait au-dessous des basses eaux, on emploie le fascinage *en barbe*, qui consiste dans l'adjonction de *grillages* pour supporter les fascines. Ces grillages sont construits au moyen de saucissons de 0^m,15 de diamètre, disposés perpendiculairement à la rive, en rangées espacées de 0^m,50, du côté de l'eau, et de 0^m,30, du côté des terres. Tous ces saucissons sont fortement liés entre eux, avant que l'on descende le grillage jusqu'à l'étiage par des tranchées pratiquées dans la berge.

Le grillage posé, on le surmonte d'un massif de six à sept lits de fascines, dont es unes tournent leurs branches vers l'eau, tandis que les autres placées alternativement, sont liées par des piquets clayonnés. Les intervalles sont chargés de lest et de terre.

Dès que le massif a été amarré, à l'aide des tranchées de manœuvre, il cède sous le poids du lest, du côté de l'eau, et en s'enfonçant, il s'applique sur le lit même.

Au cas où un massif ne suffirait pas comme hauteur pour émerger, au-dessus de l'étiage, on en échoue un second sur un nouveau grillage, et ainsi de suite.

Quelles que soient les dispositions des

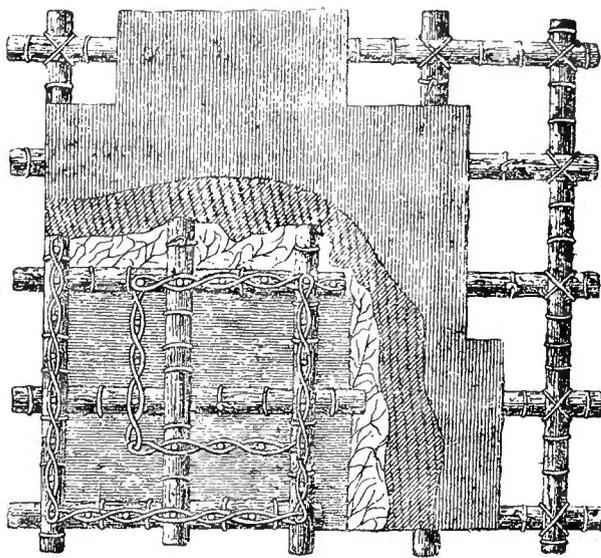


Fig. 19. — Fascinage en piquets et clayons.

fascinages, on procède par échouage, sous l'eau, et par revêtements, au-dessus de l'étiage.

L'échouage des grillages, ou plateformes, constitue une opération très délicate, en ce qu'elle exige l'observation

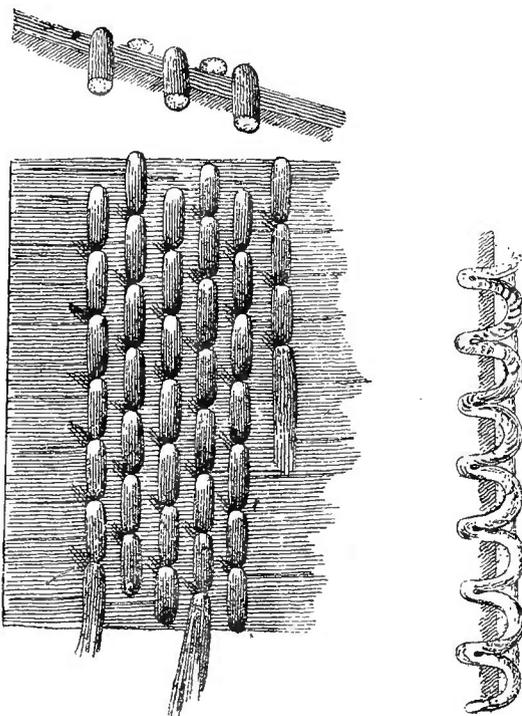


Fig. 20. — Fascinage en tresses de roseaux.

continue du courant. On peut commencer du côté d'amont, quand la longueur du grillage a atteint de 50 à 60 mètres ; mais il faut avoir une grande quantité de lest, afin d'empêcher qu'il ne se détache de la rive, pendant l'opération. Si l'on a placé préalablement deux

(1) Van Kerkwyk, *Les travaux publics dans les Pays-Bas*, p. 130.

forts tunages, l'un le long de la ligne extérieure, et l'autre, parallèlement, à une distance de 3 à 4 mètres, les tunages transversaux forment des caissons, où l'on charge du lest, surtout en amont.

Les tunages solidement attachés aux points d'intersection, sur une hauteur de 0^m,30, sont tressés de manière que les clayons prennent leur point fixe dans la couche même, sinon dans les saucissons inférieurs, pour que le courant ne les enlève pas. Ils sont telle-

ment inclinés à la descente, qu'après l'échouage, ils se redressent verticalement. Aussi, aux points de croisement, on les relie fortement par des harts de fort calibre.

Comme la pointe du grillage coule aussitôt que les tunages ont été chargés, il faut, au plus vite, charger le gravier régulièrement et recourir aux bateaux, pour empêcher, en augmentant le lest, que la partie échouée ne se relève. En même temps, on redouble la charge sur

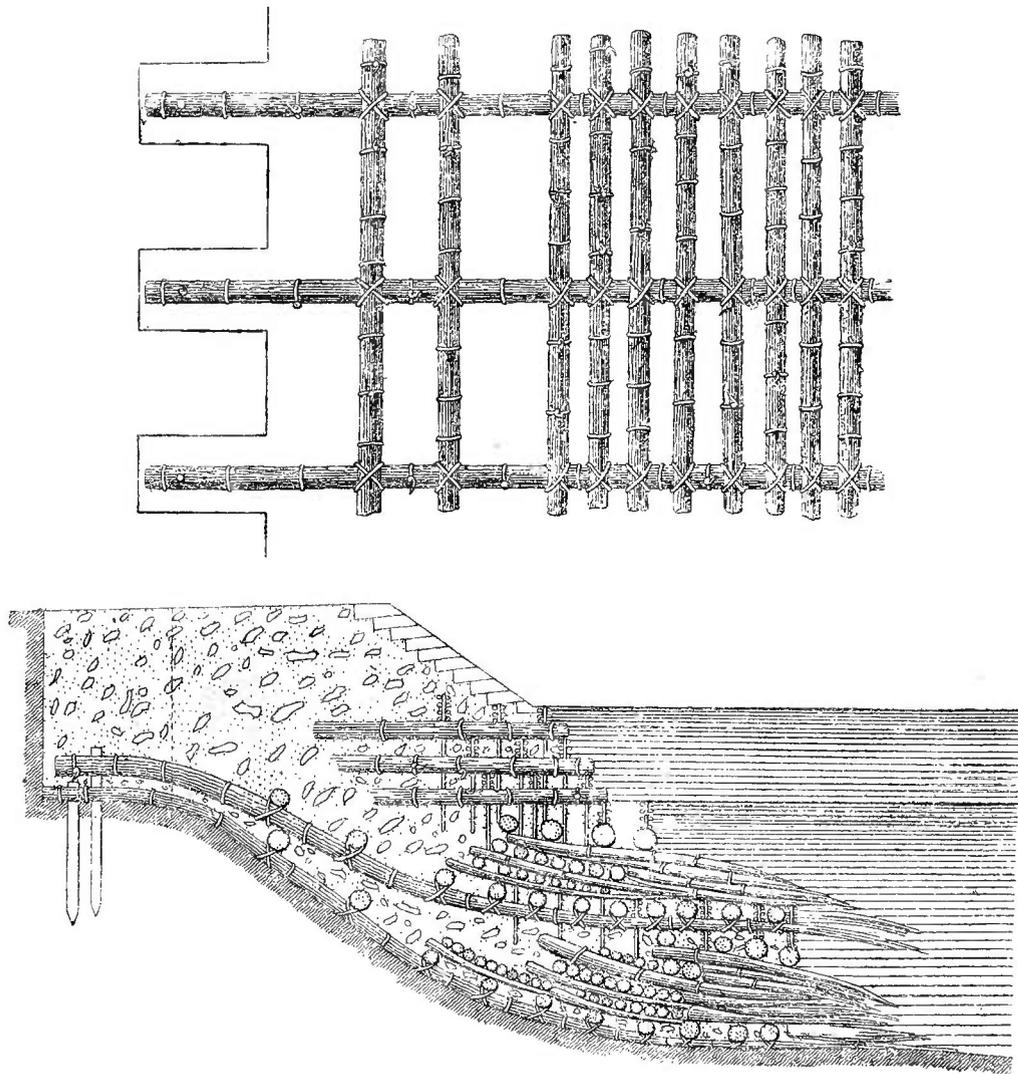


Fig. 21. — Fascinage et tunage de protection des rives et des digues en Hollande.

la partie qui a moins d'épaisseur, accrochée à la rive.

Le lestage avec du gravier se continue d'amont en aval, au moins une ou deux fois après l'échouage complet, pour être bien sûr que les fascines et leurs interstices sont bien comblés. Des sondages font connaître si le bois des fascines est partout assez couvert.

Les figures 19 et 20 représentent les détails d'un tunage de revêtement en piquets avec clayons, et d'un tunage en piquets avec tresses de roseaux.

L'ensemble des dispositions de fascinage et de tunage, pour la protection des berges ou des talus de digues, est indiqué par une coupe transversale et par le plan des fascinages de fondation (fig. 21).

Pour empêcher que la plate-forme ne se détache de la rive, sous l'action du courant des crues ou des glaçons, on a recours à un fascinage particulier, dit à *barbes* (fig. 22), formé de plusieurs lits, jusqu'au-dessus du niveau des plus fortes crues. Sur les fascinages échoués, pour

égaliser la ligne ondulée le long de la rive, on dispose des fascines, de façon à laisser flotter leurs barbes sur l'eau; les premières rangées sont tant soit peu obliques par rapport à la direction du courant; les gros bouts reposent sur la rive, ou sur la risberme. Les rangées suivantes sont parallèles à la rive et s'avancent de 0^m,60 dans l'eau, suivant la profondeur à atteindre. Les couches successives de fascines sont fixées et reliées par des saucissons reposant sur la risberme et sur les couches de fondation, où elles sont amarrées par des piquets.

Quand le niveau définitif a été atteint,

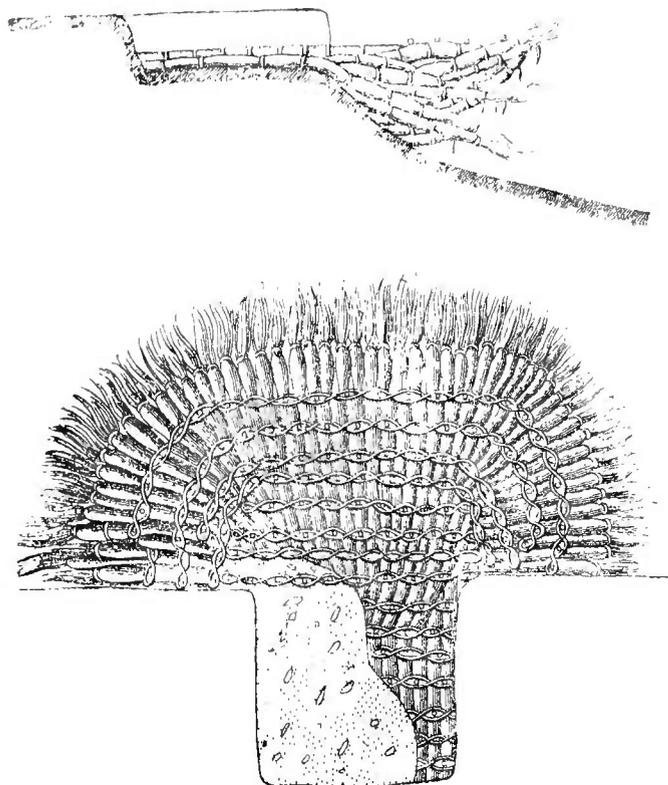


Fig. 22. — Fascinage à barbes et tunage de soutènement. Plan et coupe d'une première couche.

avec un talus de 1 sur 2, sous l'eau, et de 1 sur 1 au-dessus, on revêt le tout d'un lit mince de fascines déliées, en y réservant des tunages que l'on charge de lest. Le but de cette couverture est de permettre, au cas où, par hasard, les bois de la couche supérieure de fascinages seraient entraînés, que le lest superficiel tombe sur la couche immédiatement au-dessous.

Enrochements.

Les enrochements offrent un moyen puissant de consolidation des rives de cours d'eau, lorsque les berges sont sérieusement entamées, et que l'on dispose de blocs de dimensions convenables. On peut même y recourir pendant les crues,

tant que les rives ne sont pas submergées.

Si le fond de la rivière est affouillé au pied de la berge, les blocs s'affaisseront; mais alors l'enrochement devra être complété par des matériaux moins volumineux.

Les limons et les graviers que portent les crues, les terres et les pierres qui s'éboulent de la berge, retenus dans les interstices des blocs, finissent par former une sorte de mortier qui solidifie l'enrochement à la longue, et lui permet de résister. La première condition à observer, c'est que les blocs soient assez lourds pour ne pas être déplacés par la force du courant.

Dans certains pays de montagnes, les Hautes-Alpes, par exemple, les enrochements sont formés par des troncs d'arbre, couchés le long de la rive, les branches tournées vers le courant, et chargés de lourdes roches avec du gravier, comblant les vides entre les troncs et les branches, de façon à constituer une levée suffisamment solide pour être garantie des hautes eaux. Parfois, pour diminuer le cube des pierres, on plante les troncs verticalement, comme des poteaux, en quinconce, et on réserve les gros blocs qui bouchent les intervalles.

En Ecosse, on enfonce de 1^m,50 à 2 mètres dans le sable des rives, les troncs de pins, *aaa* (fig. 23), provenant des éclaircies des plantations, et on remplit leurs interstices, *bb*, avec des pierres entremêlées de bruyère, ou de broussailles. On défend cette palissade de pieux contre le courant par de plus gros blocs disposés en talus *c*, qui fortifient le pied. Une variante de palissade, employée en

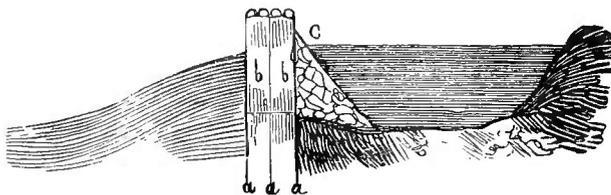


Fig. 23. — Conservation des rives (Ecosse).

Allemagne, avec chargement en pierres, est indiquée fig. 24.

Les pierres associées aux piquets, ou aux pieux, que l'on plante en triangle, en cercle, en quinconce, et que l'on recouvre après chargement, avec du gravier, ou des claies vivaces, n'assurent pas seulement plus de solidité et de durée aux berges exposées, mais elles

constituent un bon revêtement des talus soumis à l'effet des crues (fig. 25).

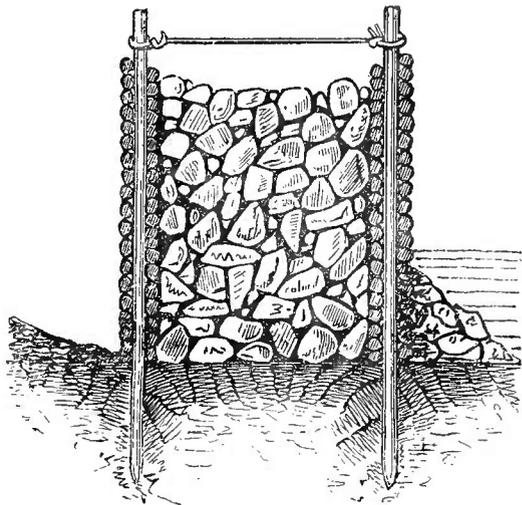


Fig. 24. — Protection de rives (bois et pierres) encaissées).

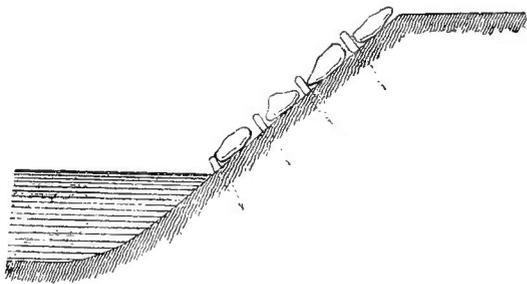


Fig. 25. — Revêtement en pierres et piquets pour consolidation de talus.

Procédés mixtes.

Quand la profondeur d'eau est trop grande, les plantations deviennent insuffisantes pour retenir les alluvions qu'em-

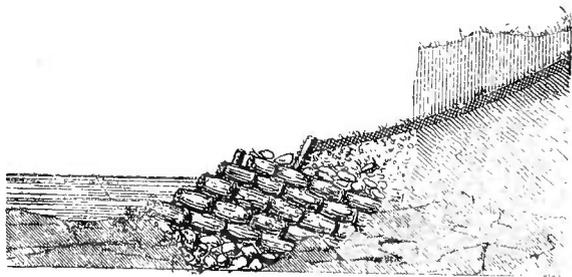


Fig. 26. — Clayonnage mixte d'une rive à pic avec enrochement.

porteraient les premières crues, et l'on est obligé de recourir à des procédés mixtes ; soit qu'on conserve les rives plantées jusqu'à mi-hauteur, au moyen d'un ou de plusieurs rangs de fascines ; soit qu'on les fortifie par des clayonnages, se rattachant, sous un angle de 45 degrés environ, au terrain planté.

Au cas où la berge doit être trop longtemps submergée, il convient le plus souvent de provoquer l'exhaussement des

alluvions par des rangées de fascines, ou des petites levées submersibles. Ces fascinages exécutés avec des fagots de 2 à 3 mètres de longueur, que l'on place côte à côte, et que l'on réunit par des perches de traverse, liées en osier, forment un radeau que l'on charge de pierres ou de sable. On le recouvre, s'il y a lieu, à l'instar de la méthode hollan-

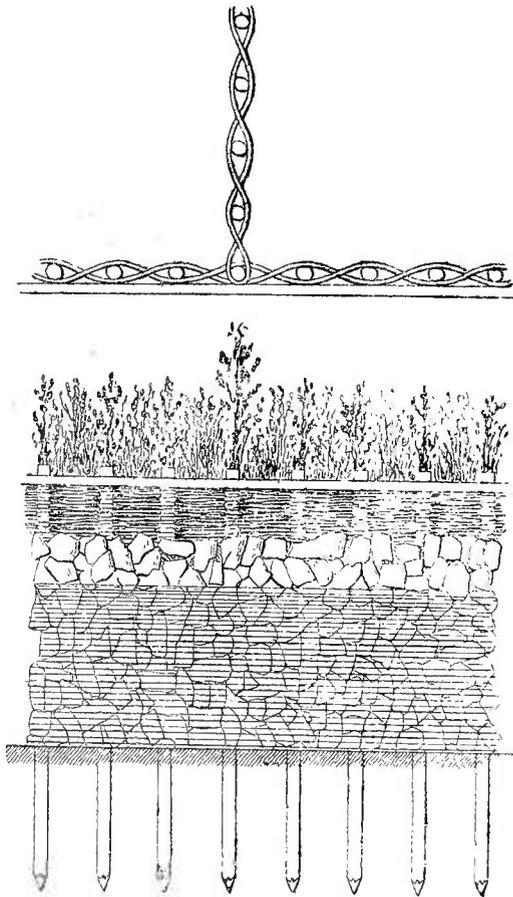


Fig. 27. — Clayonnage simple avec enrochement (Garonne).

daise, par un second, par un troisième radeau, de même construction, en ayant soin que chacun soit en retraite par rapport à celui situé au-dessous, et que l'ensemble retenu au lit par des piquets et des branchages, présente au courant un plan incliné qui amortisse les chocs et favorise les dépôts.

Si les cavités ou les irrégularités du fond d'une rivière empêchent de clayonner jusqu'au lit, en raison de la hauteur d'eau trop grande, on le couvre d'abord de fascinages ou d'enrochements, afin de donner au lit un talus régulier à partir de la rive.

Soit qu'on charge le fond de pierres, en augmentant l'épaisseur à l'avant, c'est-à-dire du côté du courant ; soit que l'on échoue des fascines sur plusieurs rangées, en tournant les gros bouts sur

l'eau pour obtenir plus d'épaisseur, on ne peut clayonner utilement, que lorsque

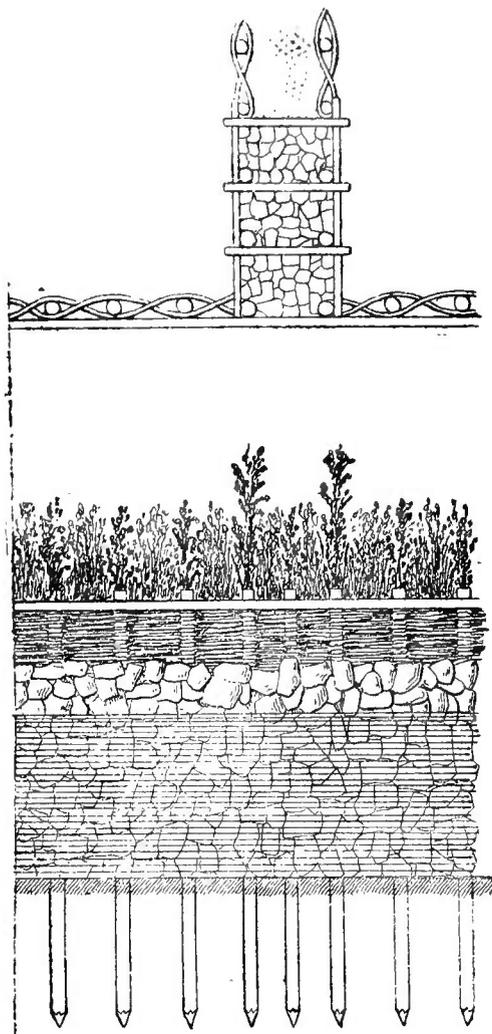


Fig. 28. — Clayonnage avec enrochement et barrages de traverse.

les enrochements ou les fascinages atteignent le niveau des basses eaux.

Quand la berge est en terrain assez résistant, en rocher, par exemple, le lit des fascinages sera incliné à l'arrière, pour pouvoir y planter les piquets du clayonnage, mais alors les queues du lit de fascinages devront être lestées, derrière les piquets, de lourdes pierres ou de graviers, pour empêcher le soulèvement par les eaux. Par-dessus le lit de fascines, on charge de terre et on gazonne par devant. Cette disposition est indiquée en coupe dans la figure 26.

Sur les fonds meubles, les procédés mixtes de clayonnages simples et doubles, associés à des fascinages et à des enrochements, ont été appliqués sur une grande échelle, pour consolider les rives de la Garonne.

Les types des ouvrages principaux exécutés sur cette rivière sont représentés dans les figures 27, 28 et 29; ils comprennent (fig. 28) : un clayonnage simple, en profil et en coupe, avec pieux de saule, des clayons enlacés au bois, et des enrochements au pied, sur le devant; — (fig. 28), un clayonnage double (profil et coupe), avec pieux également en saule vert, enrochements sur le devant, et des barreaux se raccordant transversalement avec la rive, à l'arrière. Entre deux clayonnages, les barreaux sont consolidés par du gravier et des pavés, avec entretoises au dessus; — (fig. 29), une ligne de rattachement de clayonnages, avec fascinages et enrochements.

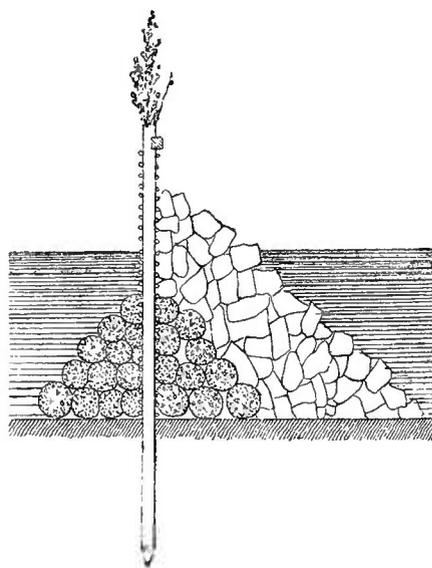


Fig. 29. — Lignes de rive avec clayonnages, fascinages et traverses (Garonne).

Revêtement des berges.

Les fascinages comme les clayonnages employés pour la défense des rives des cours d'eau, quand ils ne sont pas constamment submergés, ou du moins, en

grande partie et longtemps submergés, sont peu durables. Les bois alternativement mouillés et séchés se détériorent vite; de plus, ces ouvrages sont assez dispendieux.

Les revêtements qui en tiennent place, pour la conservation, plutôt que pour la défense des berges, ne sont praticables que sur des talus convenables ; ou bien, si les berges peuvent être coupées en talus, soit que l'on recule leur crête, soit que l'on avance leur pied par des remblais. Exécutés en gazon, en perré, en charpente, etc., les revêtements ne servent qu'à la consolidation des rives au-dessus de l'étiage.

Gazons. — Le plus simple de tous est le gazon, fixé à l'aide de piquets à crochets de 0^m,30 à 0^m,40 de longueur, avant que les crues ne se produisent.

Le gazonnement se recommande, non seulement à cause de l'économie, d'établissement et d'entretien, mais encore en raison de sa stabilité et de son produit, auquel s'ajoute celui des plan-

tations de saules. Les talus gazonnés réussissent même sur les bords des grands cours d'eau, tels que la Loire. Si le travail s'exécute en été, il faut arroser deux ou trois fois pour faciliter la reprise du gazon.

Dans les berges coupées à pic, la première opération, avant de gazonner, consiste à leur donner un talus régulier, s'appuyant sur le clayonnage, ou le fascinage, qui protège leur pied au-dessous de l'étiage. Pour cela, on enlève et on met en réserve les mottes en herbe et la terre végétale de la berge à déblayer, en arrière du bord corrodé. On prend une largeur à peu près égale à la hauteur de la berge, et on déblaie en pente, en jetant les terres contre le clayonnage pour l'épauler et le rendre étanche. Au fur et à mesure que le talus émerge, on pilonne et on règle finalement la pente ; on rem-

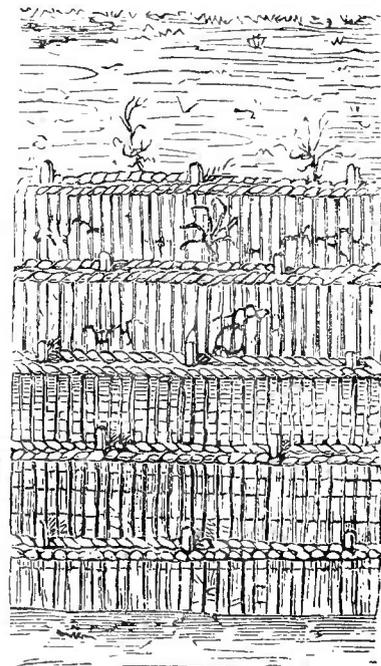
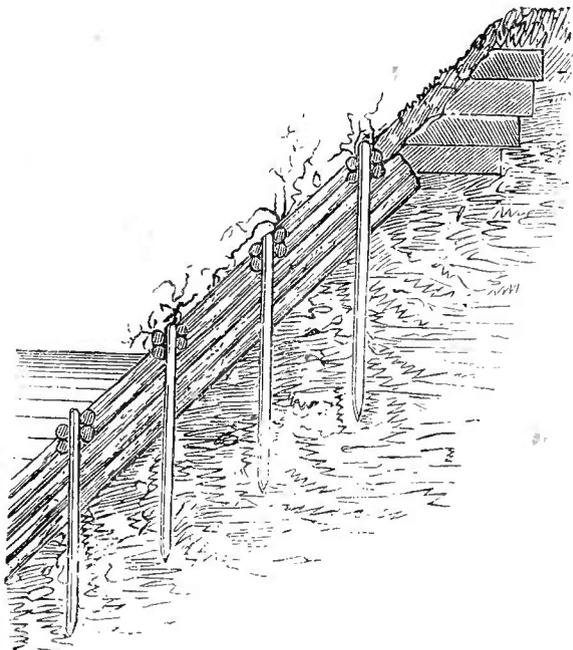


Fig. 30. — Revêtement de berge en bois rond avec clayons tressés.

blaye avec la terre végétale en réserve, que l'on régale uniformément, et finalement on repique les mottes de gazon ; ou bien l'on sème.

Rien ne résiste mieux aux eaux rapides que les surfaces gazonnées, sur des talus suffisamment déclives.

Clayonnages. — Pour des pentes plus fortes, on applique avantageusement le clayonnage, avec revêtement en gros bois ronds superposés, que maintiennent des pieux liernés, profondément plantés dans la berge, comme l'indique, en coupe et en élévation, la figure 30.

Perrés. — Les perrés se font en talus de 1 à 2 de base pour 1 de hauteur, afin de permettre au flot des crues de monter plus facilement et d'éviter toute dégradation, après leur abaissement, parfois subit.

Quand on ne peut pas les fonder sur des enrochements à pierre perdue ou bétonnée, ou en terrain solide, il est indispensable de les soutenir, sous l'étiage, par des charpentes en pieux liernés, ou réunis par des moises transversales, entre lesquelles on met des pierres d'enrochement.

L'épaisseur des perrés varie de 0^m,20

au sommet, à raison de 0^m,05 par mètre, jusqu'à la base. On les construit en lits incertains, quelquefois avec des chaînes verticales en gros libages, posés sur une couche bien dressée de terre, ou de sable; ou bien encore, par éclats qui font meil-

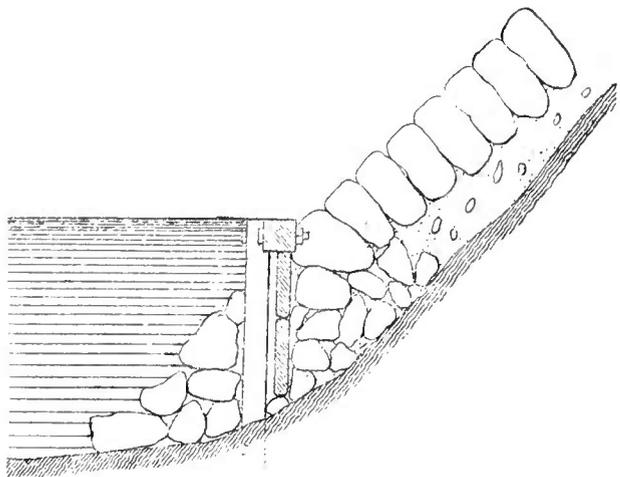


Fig. 31. — Perré sur l'Allier.

leure prise dans le sol; mais la surface battue par les eaux doit être aussi unie que possible pour résister à l'érosion. La figure 31 représente un perré, avec enrochements, exécuté sur l'Allier, et la figure 32 un perré sur la Loire.

A

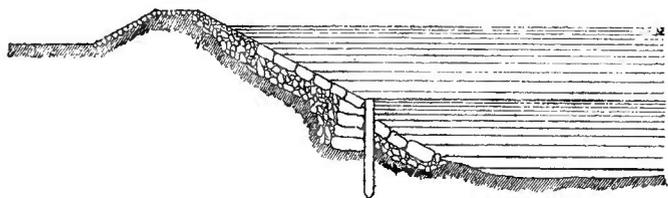


Fig. 33. — Revêtement des bords de l'Adda en pierres avec enrochements et digue supérieure à l'étiage.
A. Grande crue. — B. Etiage.

Quand on a recours, comme en Piémont, et pour la rivière Medway, en Angleterre, à des prismes de béton, le fruit est tenu à 45 degrés.

Outre le revêtement des berges au moyen de pierres perdues, recouvertes de pierres appareillées, comme le montre la figure 34 on emploie économiquement, en Allemagne, pour la réfection des rives, des couches de fascines entrecroisées. Les fascines des berges, artificielles sont réglés suivant le talus adopté, recouverts par des pierres jusqu'au niveau du lit, et protégés sur le seuil. La banquette est consolidée par des clayons parallèles enlacés; la berge naturelle, également; les clayonnages dirigés en diagonale, entre deux rangées

Sur les bords de l'Adda, sujet à de grosses crues, les perrés se construisent suivant deux variantes indiquées, en A et en B, par la figure 33. Ils sont également enrochés au pied, sous l'étiage.

Lorsque les perrés sont maçonnés au mortier de chaux avec sable, ce qui entraîne de fortes dépenses, abordables seulement par l'Etat, mais sans plus de garantie de résistance, on ménage des ouvertures, comme dans les murs de soutène-

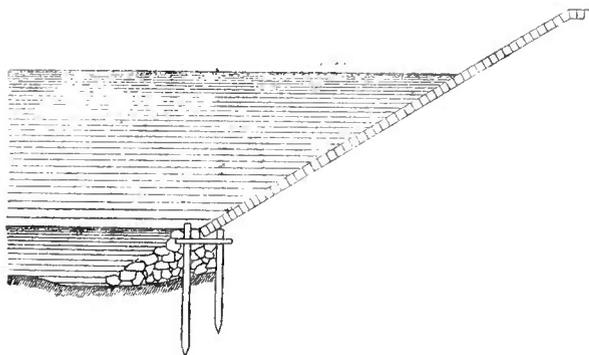
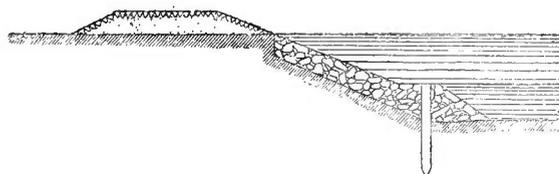


Fig. 32. — Perré sur la Loire.

ment, pour permettre aux eaux d'égouttement du terrain de s'écouler.

Les talus soutenus par la charpente ont généralement un fruit de 3 sur 2. La vitesse du courant et l'orientation déterminent la pente la plus convenable.

B



parallèles, sont solidement piquetés (fig. 35) (1).

Palissades. — Le bois n'est pas seulement employé, comme on l'a vu, pour

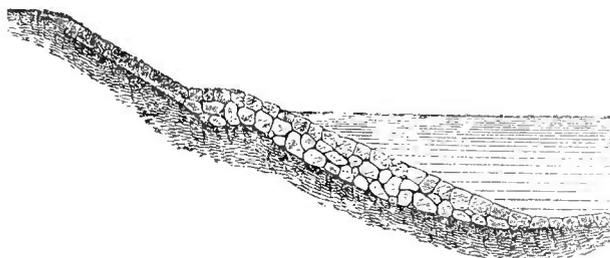


Fig. 34. — Revêtement de berge en pierres perdues et appareillées.

servir de corps aux clayonnages, aux enrochements et aux fondations de divers

(1) Perels. *Handbuch des Landw. Wasserbaus.*

ouvrages, mais, dans les pays où il est abondant, il sert directement à protéger et à régulariser les rives des cours d'eau, qu'on en fasse de simples palissades, ou des palissades doubles, avec enrochements, qui remplacent la rive corrodée-

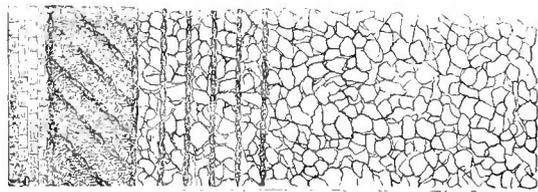
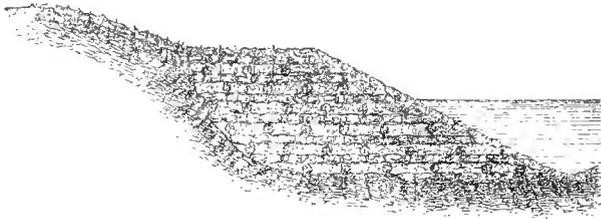


Fig. 35. — Berge artificielle en fascinage avec revêtement en pierres et elayonnages.

Dans les cours d'eau tranquilles, la palissade la plus économique est celle qui

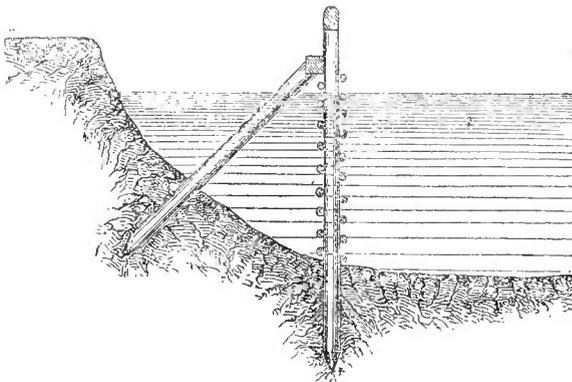


Fig. 36. — Palissade simple de détense en charpente.

consiste en pieux droits, enfoncés au mouton jusqu'à une profondeur de 1^m,50

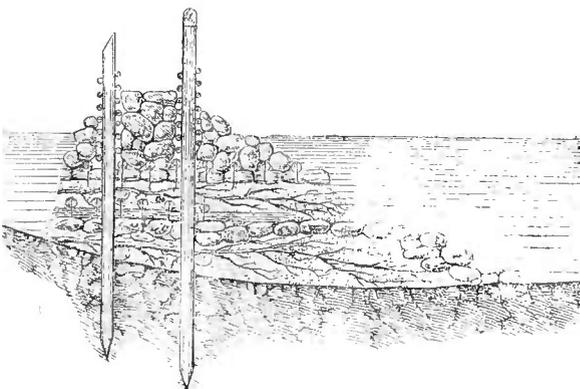


Fig. 37. — Double palissade avec enrochement pour berge artificielle.

au moins, dans le terrain du fond. Ces pieux sont aussi rapprochés que le permet leur équarrissage ; ils sont soutenus, à l'arrière, par des contre-pieux inclinés,

pénétrant dans la berge, qui doivent aider à vaincre la poussée de l'eau. Les pieux montants verticaux sont coiffés d'un chapeau, et maintenus sur chaque parement par des bois entretoisés qui complètent le blindage (figure 36).

L'usage du fer qui se rouille et pourrit les bois est soigneusement exclu. Si le terrain n'est pas assez ferme, au bas de quelques pieux, on enlève quelques pouces de sol à la drague, et on asseoie un lit de pierraille que l'on bat jusqu'à ce qu'il arase le sol ancien.

Dans les courants plus violents, la palissade se fait double, sans contre-pieux, mais en alternant, comme support, des lits de branches, de fascines, de blocaille et de pierres (figure 37).

Muraillements.

Malgré les soins qu'exigent leurs fondations, la nécessité de les enrocher et le coût de leur exécution, les muraillements continuent à se construire, aux frais de l'État, ou des municipalités, pour consolider les berges de certains cours d'eau, notamment aux abords des villes et dans les villes mêmes.

Les murs en pierres sèches ou maçonnées, verticaux, ou avec retrait, comme soutènement des rives, constituent un système dispendieux, peu abordable pour les particuliers, et souvent ruineux pour les syndicats.

La figure 38 représente le cas le plus

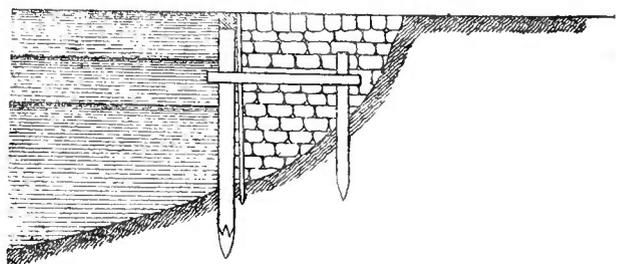


Fig. 38. — Muraille de soutènement de berge établie sur l'Yonne.

simple d'une muraille de soutènement, exécutée en charpente et en maçonnerie de moellons, sur l'Yonne. La construction mixte est moins onéreuse que celle toute en maçonnerie, en raison des fondations assurées par la charpente.

Sur les rives du torrent la Polcevera, près de Gênes, et ailleurs, en pays de montagne, les murs se font avec des blocs de torrents, cimentés à la chaux

grasse. Quoique ces murs soient découverts pendant la plus grande partie de l'année, ils résistent aux crues les plus impétueuses, à la condition de leur donner de 1^m,50 à 2 mètres de fondation sur empattement; une épaisseur de 1 mètre à 1^m, 50; mais une élévation

réduite à 3 mètres au-dessus du fond.

Quand le sol n'est pas assez résistant aux affouillements, on garnit de pilotis, sur un ou deux rangs, le pied des fondations des murailles dans les endroits les plus exposés.

III

TRAVAUX DE DÉFENSE DES COURS D'EAU

Les corrosions permanentes des cours d'eau proviennent, en premier lieu, de la direction défectueuse de leur thalweg en amont.

S'il n'y a pas équilibre, ou réciprocité parfaite entre les courbes d'amont et les courbes d'aval; ou bien, le lit étant trop étroit, si le fond est plus résistant que les rives, le courant corrodera d'un côté et de l'autre, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi.

Quand un affluent dirige le thalweg sur la rive opposée, et que le thalweg ne s'oppose pas à son écoulement, l'affluent est obligé de remonter en remous le long des rives qu'il corrode; c'est le cas pour certains tributaires dont les crues précèdent de quelques jours celle de la rivière principale. Si cette dernière est divisée en plusieurs bras, le même effet se produit sur plusieurs points, par suite de l'inégalité des courants.

Au cas où un torrent charrie des matières plus résistantes que celles formant la berge de la rivière où il débouche, le thalweg est dévié; à moins que le courant n'ait assez de force pour les transporter à l'aval.

Le courant, de toutes manières, quand il ne peut pas entraîner les dépôts qui exhausent le lit ou créent des obstacles, forme des tourbillons dont l'effet est de le porter sur l'une des rives. Des pentes accidentelles se forment, par suite de l'affouillement des parties moins résistantes

du lit, et le courant, à la plus grande profondeur, y déplace le thalweg.

Les alluvions attachées à une rive deviennent d'autant plus saillantes, que la corrosion sur la rive opposée augmente; tant que l'alluvion subsiste, la corrosion se poursuit.

Comme une corrosion à l'amont en produit toujours une à l'aval, et que le thalweg s'étend sur la largeur du cours d'eau, le travail d'érosion se continue de proche en proche, aussi longtemps que le thalweg ne se trouve pas replacé dans l'axe du lit.

La ténacité inégale des rives, la présence d'îles qui émergent au milieu du chenal, de bas-fonds sous les eaux d'étiage, de blocs de rochers, de troncs d'arbres accrochés, ou formant barrage, etc., sont autant de causes de destruction du régime d'équilibre, qu'il faut envisager dans le plan de défense des cours d'eau.

Deux faits doivent rester présents à l'esprit : 1° partout où il y a un obstacle, les eaux s'y portent et s'y établissent invariablement; 2° les eaux frappant l'obstacle se réfléchissent, en suivant un courant rapide qui atteint le parement opposé.

Comme les obstacles naturels, auxquels s'ajoutent ceux de main d'homme, tels que les ponts, les bateaux échoués, les gravois de décharge, etc., sont inégalement disséminés sur l'un et l'autre pare-

ment et dans le lit des cours d'eau, et que chaque obstacle est un point de passage obligé pour les eaux, celles-ci vont de l'une à l'autre rive, en subissant une suite de réflexions dont les points d'incidence sont stables, tandis que le courant intermédiaire varie sans cesse.

Il s'ensuit qu'il est le plus souvent impossible de défendre une rive par un ouvrage d'art, sans attaquer plus ou moins la rive opposée, en face ou en aval.

la navigation, à s'avancer jusqu'à la limite indiquée. Au cas d'urgence seulement, les riverains peuvent exécuter des travaux de défense, en devançant l'autorisation préalable; hors ce cas, un épi, une digue, une chaussée, non autorisés, ne peuvent être l'objet d'une prescription, car la contravention est permanente.

Ces mesures, dictées par l'intérêt public, sont d'autant plus justifiables que la courbe d'équilibre des cours d'eau ne peut être déterminée que sur un plan bien exact, où est reportée la direction du thalweg supérieur dans les hautes et basses eaux. C'est suivant la ligne directrice que devront se construire les ouvrages, en ayant soin de laisser une plus grande largeur à la section dans les parties où la courbure est la plus prononcée.

Les épis ou éperons, les estacades et les jetées, constituent les ouvrages saillants les plus efficaces, non seulement pour combattre les corrosions permanentes, mais encore pour régulariser le chenal et améliorer le régime général des cours d'eau.

Épis et Éperons.

Les épis et éperons varient beaucoup quant à la forme et aux effets qu'ils déterminent, même quand on limite leur ac-

tion au refoulement du courant agressif vers l'axe du chenal.

Maintenue dans cette limite, l'action variable d'un épi est indiquée par les croquis de la figure 39. En A, l'épi est dirigé obliquement du côté amont; en B, obliquement, du côté aval; et en C, perpendiculairement au courant. Dans les trois variantes, il se produit, à l'amont, un remous de gonflement des eaux, avec tournoiements, et à l'aval, un remous de dépression, avec tournoiements plus allongés et affouillement. Il s'ensuit qu'en amont des épis, si le lit est affouillable, il se produit un atterrissement, et en aval, une excavation, dont le déblai est reporté en exhaussement du lit.

Dans la figure 40, le travail des épis

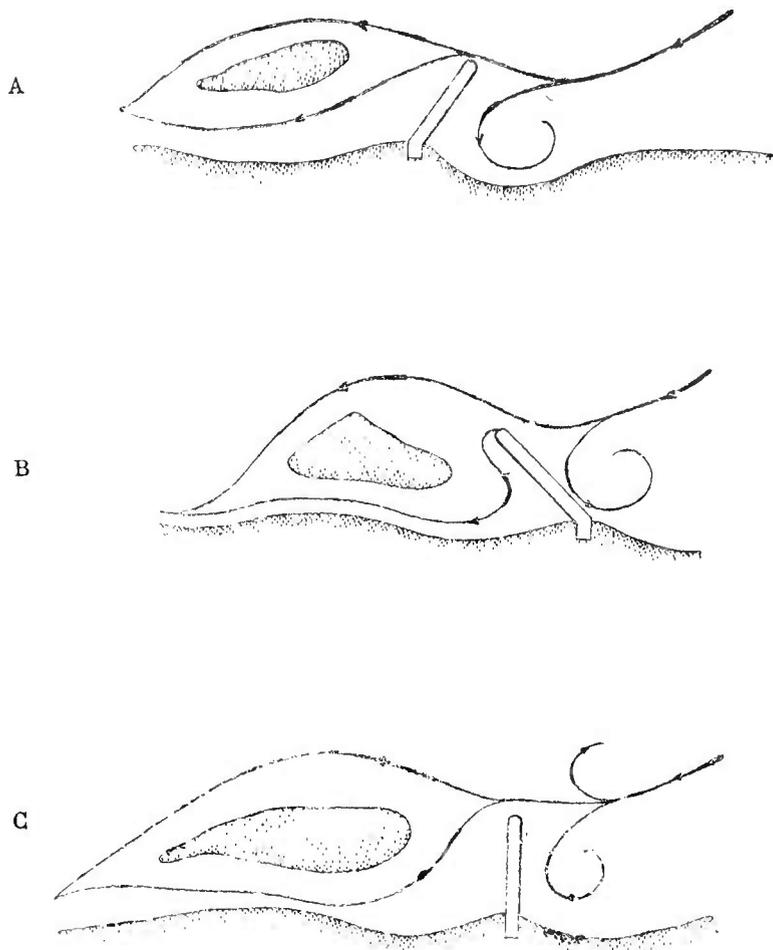


Fig. 39. — Effets de courants produits comparativement par les épis obliques et verticaux.

C'est pourquoi la législation, en France, établit qu'il est de droit d'accorder l'autorisation de protéger les deux rives, quand une seule en fait la demande.

Dès qu'une demande est adressée pour établir des épis ou des digues de défense, l'administration détermine sur un plan la direction à donner à l'axe moyen du chenal, et y trace la ligne des défenses sur un long parcours, pour l'une et l'autre rive. Le tracé de l'encaissement, du redressement ou de l'endiguement est figuré de telle sorte que l'alignement pétitionné n'est plus qu'un extrait du plan général. Quand il s'agit d'un cours d'eau navigable, la décision administrative qui indique aux riverains l'alignement, les oblige, dans l'intérêt de

sur un fond très incliné, est représenté de manière à parler aux yeux ; *a, a, a*, les épis ; *b, b, b*, les atterrissements ; *c, c, c*, les affouillements ; *d, d, d*, les remblais du fond qu'emportent le plus souvent les crues.

Les épis qui retrécissent le débouché, en augmentant la rapidité du courant, déterminent naturellement l'abaissement du lit. Si l'incidence se produit au centre, le courant se portera vers la rive protégée ; si, au contraire, l'épi détermine un atter-

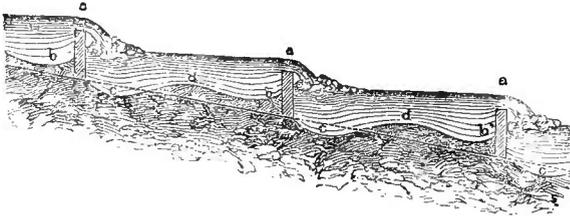


Fig. 40. — Action des épis consécutifs sur le lit d'un cours d'eau à pente rapide.

rissement, le courant s'infléchira et creusera une anse dans la rive opposée, à moins qu'on ne dispose sur celle-ci un épi symétrique.

Pour obvier à cet inconvénient, Frisi recommande d'appuyer l'épi sur la rive,

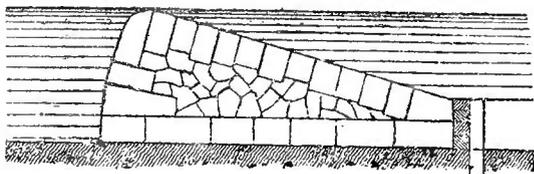


Fig. 41. — Épi de défense en maçonnerie (profil).

en lui faisant faire un angle demi-droit, avec une inclinaison partant de la base jusqu'à la pointe, de façon à ce qu'il rencontre obliquement le lit de la rivière. Mais il n'en est pas moins à craindre que le courant, frappant violemment l'angle et la pointe, ne forme des gouffres qui affaiblissent peu à peu l'ouvrage. Aux approches des épis les mieux établis, dans des fleuves tels que le Danube et l'Adige, où les berges sont heurtées de front avec la plus grande force, Frisi a toujours constaté la présence de tourbillons destructeurs, (1) quoique les ouvrages fussent bien soudés aux berges et fortifiés à la tête.

Navier conseille de n'employer que des épis à tête noyée ; ils remplacent avanta-

geusement ceux dont la crête surmonte l'étiage, pour se raccorder en pente douce avec la rive (2).

La direction perpendiculaire au courant ayant été reconnue préférable, on donne en général aux épis plus ou moins de saillie, suivant l'importance des affouillements produits en tête. On évalue à 12 et 15 mètres l'affouillement que provoque, dans le Rhin, un épi de 50 mètres de saillie. Dans la plupart des cas, un épi protège, en amont comme en aval, une longueur de rive double et même triple de sa saillie.

La propriété dont jouissent les épis de favoriser les atterrissements permet d'utiliser la force même du courant pour donner une configuration nouvelle aux rives. Or les alluvions augmentant progressivement, atteignent, avec le temps, la hauteur des épis et les protègent contre les courants violents et les débâcles, jusqu'à ce qu'ils ne servent plus. Leur entretien, tant qu'ils sont de service, consiste à réparer et à consolider leurs têtes après chaque crue.

Dans certains cours d'eau où le courant est rapide, et où les crues sont fréquentes, les épis se construisent en pierres, en moellons appareillés, en blocaille avec fascines, ou bien avec fondations sur pilotis, à un et deux rangs.

La figure 41 montre un épi en maçonnerie appareillée, construit d'après le profil que recommandait l'ingénieur Sganzin, et la figure 42, un épi en pierres

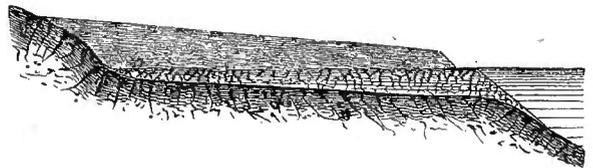


Fig. 42. — Épi en pierres perdues (vue longitudinale).

perdues, tel qu'il est le plus ordinairement exécuté sur les cours d'eau, en Bavière et en Autriche.

Considérés comme des ouvrages essentiellement provisoires, impliquant une faible dépense, les épis sont souvent établis à l'aide de piquets et de clayonnages simples ou doubles, chargés de gravier ; ou bien, avec des arbres dont les racines sont enterrées horizontalement dans la berge, et les têtes enlacées autour de pieux solides. Après quelques

(1) Frisi. *Trattato dei fiumi* ; p. 175.

(2) Navier. *Leçons de mécanique*, t. II, p. 119.

années, le but de ces ouvrages rudimentaires est atteint.

Un de ces épis, construits couramment sur la Midouze, dans les Landes, est représenté par la figure 43.

Incliné à l'amont, l'épi provisoire résiste mieux à l'affouillement, mais il est difficile, à cause de la forme convexe du

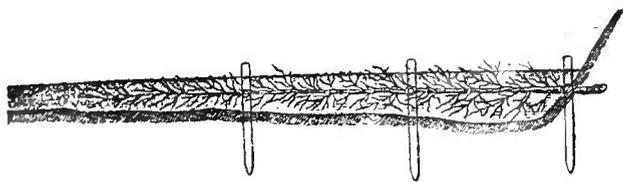


Fig. 43. — Épi en arbres et branches d'arbres avec piquets, de la Midouze (Landes).

lit, de l'enraciner comme il faut; pour ce motif, on l'incline généralement vers l'aval.

Une ligne de défense formée d'épis inclinés à l'aval et échelonnée le long de la rive, est plus économique, même sur les lits les plus convexes, car elle n'exige pas de forts enracinements. Il suffit de

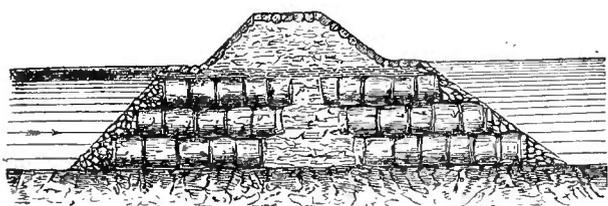


Fig. 45. — Section d'un épi en fascinage et terre grasse, revêtu de pierres.

tantôt un dos arrondi, tantôt un dos plat, avec une ou deux banquettes.

En Hollande et sur le Rhin, les épis se confectionnent avec des fascines, du gravier et de la terre grasse. Ils ont une hauteur de 0^m,20 à 0^m,30 au-dessus du niveau moyen des eaux d'été, et une inclinaison de 1 1/2 à 2 pour 1. La largeur, au sommet, varie entre 3 et 4 mètres.

Comme pour les fascinages de conservation ou de soutènement des berges à pic que l'on veut assurer contre les affouillements, on établit l'épi sur un grillage, ou plate-forme, que l'on échoue au point déterminé. Si l'épi fait un angle aigu avec la berge, le premier lit de fondation est triangulaire, afin de permettre de continuer le travail en ligne droite.

L'échouage se fait avec une telle précision, que pour les plans d'exécution, on admet seulement une déviation d'un dixième de la longueur, dans la direction

les espacer de façon que le courant ne puisse s'échapper par l'intervalle de séparation et y jeter ses matières sédimentaires.

Si les épis sont construits en maçonnerie à chaux et à sable, ils peuvent être

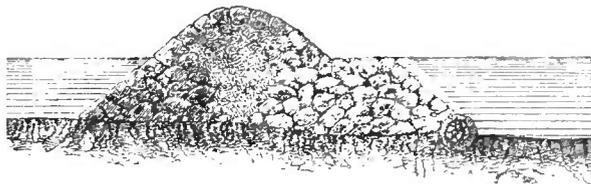


Fig. 44. — Section d'un épi en gravier revêtu de pierres.

mouillés sur toutes leurs faces et même être submergés sans inconvénient. Les murs en pierres sèches sont moins solides, mais moins coûteux; ce qui justifie leur emploi plus répandu.

Les figures 44, 45 et 46 représentent la section de quelques épis, dont la construction diffère quant aux matériaux et aux profils qui comportent

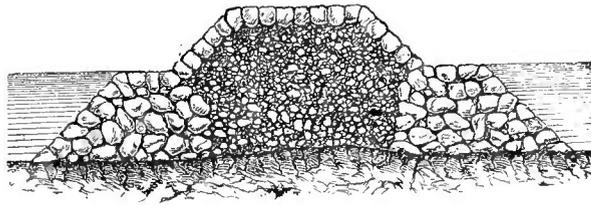


Fig. 46. — Section d'un épi à double banquette en pierres, avec blocaille.

parallèle à la ligne du courant, et de 1 mètre, dans la direction perpendiculaire. Sur les rivières à marée, la partie de l'épi qui émerge au-dessus du niveau des marées basses est fixée dans le terrain de la rive et recouverte d'un perré.

En Lombardie, les épis sont de deux sortes; les *moli* et les *pennelli*.

Moli. — Les *moli* sont construits économiquement, au moyen de gabions cylindriques de 3 pieds de diamètre, faits de neuf piquets, solidement reliés par des harts et chargés de terre. On les immerge en eau profonde autour d'une charpente qui a la forme d'un prisme triangulaire tronqué obliquement. La face plane du prisme repose sur le lit; la base est adossée à la rive, et le sommet tronqué est tourné vers le courant. Des gabions recouvrent les faces en arête. La charpente est fournie assez souvent par une vieille barque à fond plat que l'on remplit

de terre avant de la faire descendre à l'endroit désigné pour recevoir l'épi. S'il est nécessaire, on superpose deux barques ainsi lestées. Les barques étant noyées au fond, on comble l'espace libre entre la berge et la poupe, soit avec de la terre et des blocailles, soit avec des pierres et de la terre, en mélange avec des roseaux et de la paille, que des pieux maintiennent assujetties, surtout du côté de la tête, et l'on charge des gabions sur le tout, jusqu'à l'étiage, du côté de la rive. On a soin, en plongeant une seconde rangée de gabions, d'intercaler des couches de terre et de paille, pour que le tout fasse prise et résiste plus longtemps au courant. Zendrini estime que cette résistance est supérieure, en tout cas, à celle que présentent les estacades en pieux, d'une construction et d'un entretien bien plus dispendieux (1).

Pennelli. — Les *pennelli*, ou épis submersibles, ont pour section un trapèze dont la grande base s'appuie sur le lit. La petite base, formant le dos de l'épi, a une largeur de 4 mètres environ. L'enracinement est pratiqué de façon que le dos se trouve légèrement au-dessus de l'étiage, et s'incline en longueur jusqu'à se raccorder avec le lit. Pour qu'ils produisent tout leur effet, ils doivent être assez longs et se projeter à travers la plus grande profondeur du chenal, vers la berge opposée.

Dans le bas Pô, on construit aussi les *pennelli* en pierres, mais le plus souvent en grosses fascines (*fascinoni*), que l'on revêt soigneusement pour empêcher les enracinements de s'affouiller. Au bout d'un certain temps, quand ils sont en maçonnerie, ils deviennent inutiles, quoi que ayant coûté assez cher de construction et d'entretien. Les atterrissements se sont, en effet, produits et le courant a été dévié; aussi, ne servent-ils que pour les corrosions graves.

Outre la longueur à appliquer à ces sortes d'ouvrages saillants, pour leur faire rendre tout l'effet utile, il faut avoir soin de maintenir leur dos à une plus grande hauteur que celle de l'alluvion à détruire, sur tout l'espace où le thalweg

pourrait reprendre sa situation primitive sous l'action des crues.

Dans le Nil, les épis ne sont utilisés que sur les points où la berme qui sépare le fleuve du pied des digues est suffisamment large. Comme une série d'épis concentre le courant et lui donne plus de vitesse, il importe de les établir successivement, afin de maintenir le courant dans l'axe du chenal.

Les dimensions des épis dépendent de la profondeur de l'eau et de la force du courant. Certains épis exigent plus de 4,000 mètres cubes, et d'autres, à peine 500 mètres cubes de matériaux. En bonne pratique, il convient de leur donner de petites dimensions, pour commencer, et de les augmenter chaque année.

Il est d'usage de les placer sous un angle de 45 degrés. Le fleuve entrant en crue, le courant change de direction, de façon que si l'épi était situé à angle droit, il pourrait rejeter le flot contre la rive, à certains moments de la crue (2).

Le dos des épis du Nil offre un talus très faible, comme l'indique la figure 47.

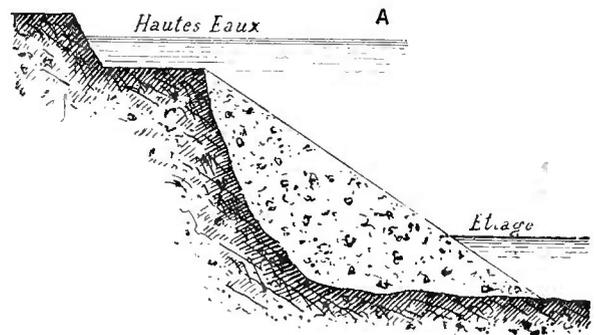


Fig. 47.— Coupe d'un épi simple installé sur les berges du Nil.

Epis à chevalets et à coffres.

Les épis à chevalets sont la défense la plus commune pour de petites portions de berges, notamment sur les cours d'eau en montagne.

Formés d'un cadre de trois pièces de bois inclinées, qui se réunissent en pointe de triangle, ils sont soutenus par une quatrième pièce à l'arrière, fichée dans le sol. Il représentent ainsi une pyramide triangulaire, couchée sur la berge, dont la base, figurée par le cadre, est opposée au courant de l'eau. Pour renforcer ce cadre, on remplit le chevalet de fagots d'épines ou de bran-

(1) Zendrini. *Delle acque correnti*, p. 271.

(2) Willcock. *Egyptian Irrigation*, p. 175.

ches, de fascines et de blocs de pierres.

Les épis à coffres sont non moins répandus. Ils consistent en parallépipèdes, dont des madriers constituent les arêtes, et des blindages en fortes planches revêtissent les faces. L'intérieur est comblé avec des pierres sèches pour faire résister ces petits ouvrages par leur poids ; mais les eaux en crue les culbutent le plus souvent, ou les vident sans les détruire.

Au cas même où ils sont disloqués et

emportés, leur construction est si simple et si peu coûteuse, qu'on les a bien vite remplacés.

Estacades.

Les ouvrages en charpente, destinés à la consolidation des risbermes des épis de défense, sont d'autant plus résistants qu'ils sont installés obliquement par rapport à la direction du courant principal ; c'est-à-dire, de telle manière que le courant, après avoir frappé l'obstacle,

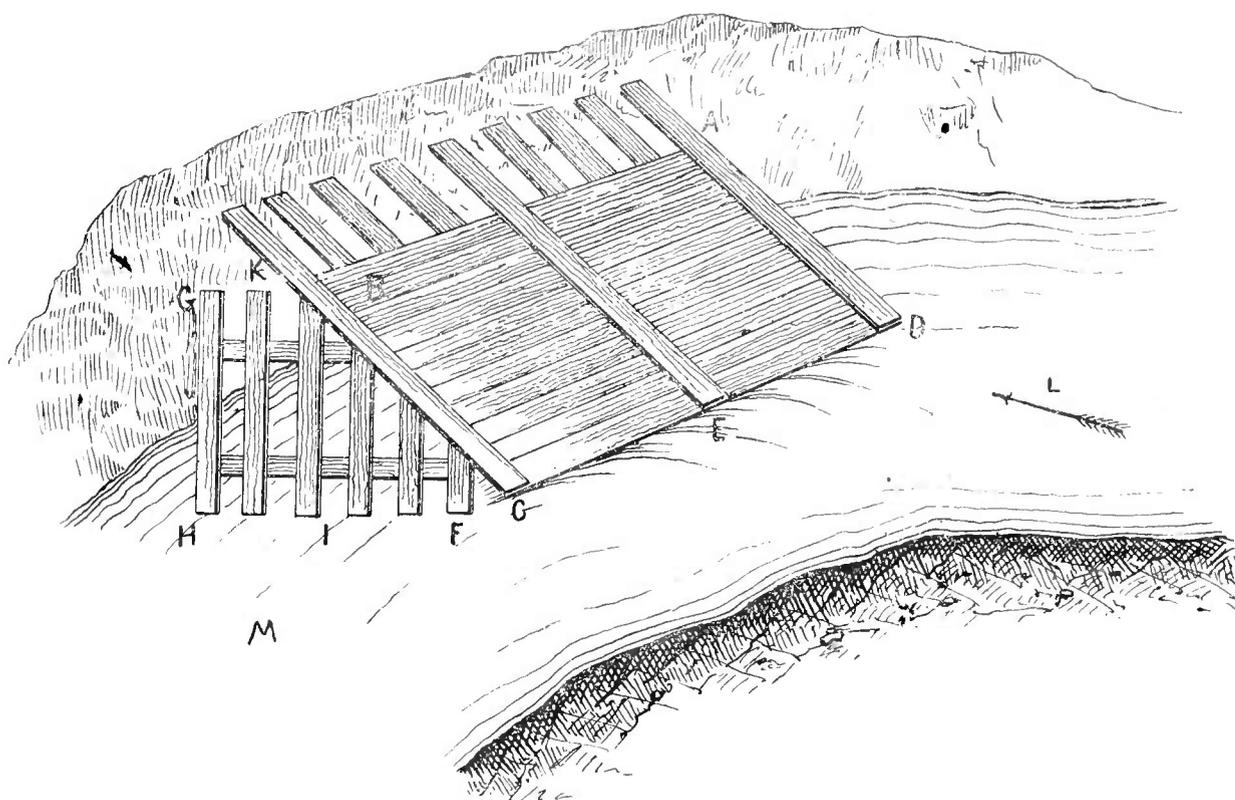


Fig. 48. — Estacade de charpente en plan incliné.

puisse continuer son mouvement sans attendre le choc suivant.

Quoique les tourbillons prennent naissance pour d'autres motifs que les chocs, il est avéré que les ouvrages saillants, à surface oblique, favorisent le mouvement de l'eau, à la suite des chocs du courant. La difficulté, en pratique, consiste à enfoncer solidement des pieux ou des pilotis dans le sol, sous un angle déterminé. Même au refus d'un mouton à sonnette, agissant sous le plus grand poids, avec un régulateur spécial, on arrive péniblement, quand les têtes doivent atteindre une hauteur déterminée et rester juxtaposées.

On a cherché à remédier à cette difficulté en construisant des estacades à pieux verticaux, avec risbermes inclinées.

Pour éviter les remous qui corrodait la rive du torrent Sile, près de son em-

bouchure dans le golfe de Venise, l'ingénieur Montanari a établi une estacade dont la fig. 49 donne une vue perspective.

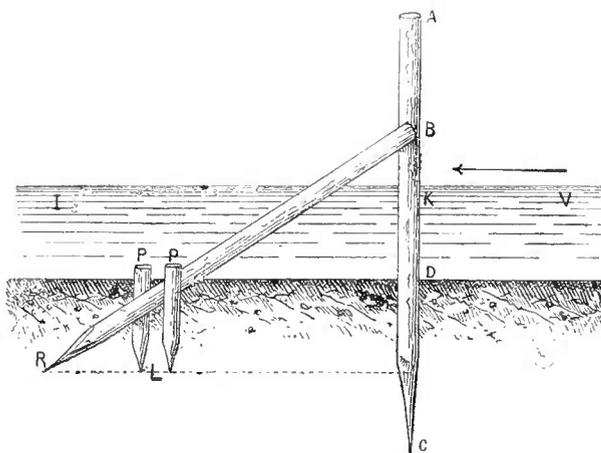


Fig. 49. — Support des pieux perpendiculaires de l'estacade.

Le torrent étant désigné par les lettres L M, et la corrosion à combattre, par AG, on plante une première palissade de pieux

perpendiculaires GH, I, K, etc., aux hauteurs indiquées, afin d'y fixer sous l'inclinaison voulue le plancher de la risberme, BCDA, construite en forts mardiers (la partie supérieure de ce plancher est à découvert dans la figure).

Les pieux perpendiculaires, pour plus de solidité, sont soutenus par des pieux obliques BR (fig. 49), de telle sorte que, enté en B, le pieu droit AC, résiste à la poussée de l'eau, dirigée suivant VK. Le pieu oblique, soutenu par les fiches P PL, est appelé *orbone*, en Polésine. Sans les contre-fiches, agissant à la façon d'un étau qui maintient l'*orbone*, il serait impossible de dominer la force du courant des crues. Le point de l'enture B, sur le

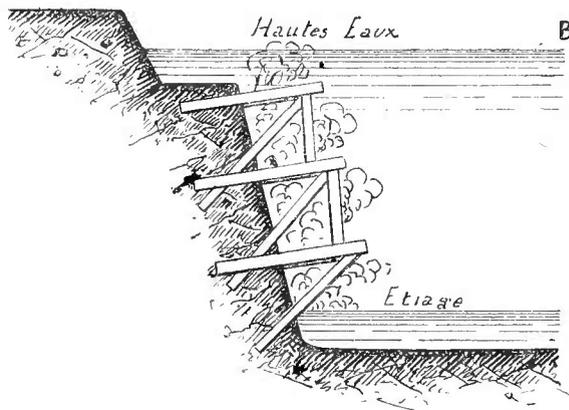


Fig. 50. — Coupe d'un épi en estacade installé sur les berges du Nil

pieu perpendiculaire, est déterminé par cette condition que l'angle RBC doit être de 45 degrés.

Zendrini approuve cette disposition d'estacade, dans les cours d'eau dont le courant n'est pas trop impétueux, mais il insiste pour que l'extrémité inférieure CED de la plate-forme (fig. 48) soit solidement encastrée, ou défendue par des pieux plus courts, plantés dans le lit même, afin d'éviter tout soulèvement par le remous et la poussée directe sur les pieux qui supportent le plan incliné.

Les eaux du Nil ont la propriété, quand le fleuve est en crue, de laisser rapidement déposer le limon qu'elles charrient, à la rencontre du moindre obstacle. Cette propriété est utilisée en disposant, le long des berges à aligner, des estacades construites à l'aide de pieux étagés, comme l'indique la figure 50. C'est une variante de l'épi représenté par la figure 47.

Digues.

Les digues sont de véritables berges artificielles que l'on construit pour encaisser le lit des cours d'eau. Si l'importance des ouvrages d'endiguement varie beaucoup, l'ensemble des dispositions est à peu près le même, qu'il s'agisse de grands, ou de petits cours d'eau.

Quand l'endiguement est continu, dans un cas comme dans l'autre, le resserrement du lit est la conséquence, d'où résultent une vitesse plus accélérée du courant des eaux en crue et une élévation de leur niveau.

Pour certains grands cours d'eau, tels que la Saône, le Rhône, le Pô, etc., le système suivi consiste à élever des digues insubmersibles, à une certaine distance des rives, en abandonnant une bande plus ou moins large de terrains cultivés, ou cultivables, de chaque côté. Ces zones de terrains sont généralement très fertiles, à cause du limon qui s'y dépose; mais elles sont sujettes trop souvent, suivant le régime des rivières, aux débordements et aux ensablements.

Avec les petits cours d'eau, on se dispense parfois de reculer les digues, ce qui oblige à leur donner plus de hauteur, pour les rendre insubmersibles; mais quelle que soit l'irrégularité du chenal, il est préférable, en traçant les ouvrages d'endiguement, de ménager autant que possible entre la berge et la digue une banquette, dite de garde, qui garantit le pied de la digue. Dans les figures 51 et 52 représentant, en plan et en coupe, une digue appropriée aux petits cours d'eau, GG est la banquette de garde.

L'éloignement des digues n'offre pas seulement l'avantage de laisser pour la culture, au moins comme gazon, une bande de terrains souvent fertiles, mais encore de pouvoir réduire la hauteur des ouvrages, et par conséquent, d'économiser des frais de construction.

Si la rive est coupée verticalement, on devra déblayer pour installer la banquette en talus. La terre végétale, ou le sable fin de la surface, mis en réserve avant le déblai, servira à régaler la banquette suivant une pente uniforme, et à conserver un gazonnement jusqu'au niveau de l'étiage des eaux.

Le tracé de la digue étant arrêté, on plante à 10 ou 15 mètres de distance, le long de ce tracé, des grands piquets dont la

tête indique, du côté de l'eau, le couronnement de l'ouvrage. Ce couronnement est tenu à 0^m,50 au moins, au-dessus du niveau des plus hautes crues, à cause du tassement des remblais, même les plus solidement pilonnés, et de l'exhaussement possible du lit.

Les pieds du talus sont marqués par de

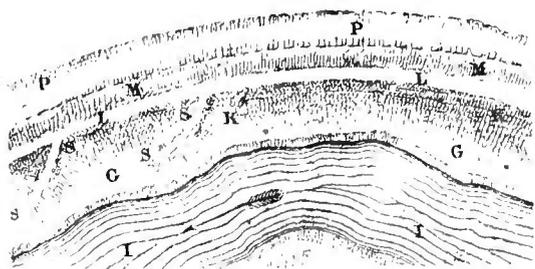


Fig. 51. — Plan d'une digue

plus petits pieux, en regard de chaque piquet de hauteur. Une rangée suit le côté de la berge, et l'autre, symétriquement placée, le côté des terres, à une distance telle que l'inclinaison du talus intérieur soit de 45 degrés. Ce talus offrant ainsi une largeur de base égale à la hauteur, on donne au talus extérieur,

du côté de l'eau, une largeur de base égale à la hauteur et demie des grands piquets. Le couronnement est maintenu à 0^m,40 ou 0^m,50 de largeur.

D'après cela, une digue de 1 mètre de hauteur offre une base de 3 mètres de largeur, et une digue de 2 mètres de hauteur, 5 mètres et demi de base.

La face du talus intérieur peut être droite et plate, mais celle du talus extérieur gagne à être concave, parce que le raccordement avec la banquette se fait mieux ; l'eau a moins de prise sur une surface courbe, et en outre, le cube du remblai est moins considérable.

Les limites du talus étant piquetées, on enlève les mottes de gazon en forme de carrés longs que l'on empile sur la banquette G G, et on déblaye (sur 0^m,20 d'épaisseur), la terre végétale que l'on façonne en bourrelet au pied du talus. Si le sol est du gravier avec galets, on pratiquera du côté de l'eau une tranchée de 0^m,50 de profondeur, que l'on remplira de terre grasse, bien pilonnée (N, fig. 52) afin d'empêcher les infiltrations par le pied du talu.

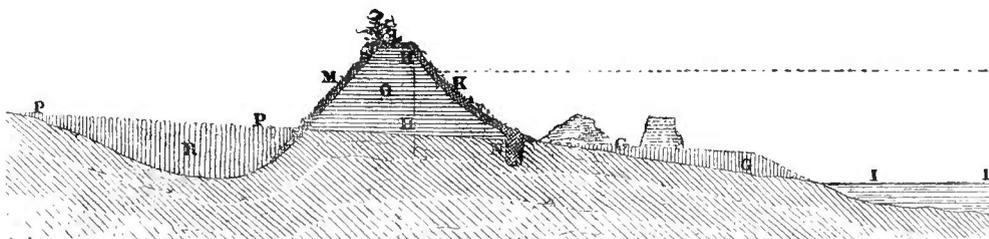


Fig. 52. — Coupe transversale de la digue.

Le corps même de la digue O est établi en gravier extrait de la rivière, ou des bords, et mélangé avec de la terre, des limons ou des sables argileux. Quand les matériaux ne sont pas convenables, il

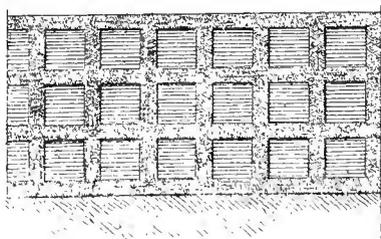


Fig. 53. — Gazonnement en échiquier d'un talus de digue.

importe, pour éviter de grands transports, de creuser un fossé en arrière de la digue, auquel on donne beaucoup de largeur et une pente douce, permettant

plus tard la culture, P, P. La largeur de la fosse d'emprunt étant égale à celle de la base de la digue, la profondeur devra correspondre au remblai, de telle sorte que R égale O.

Le remblai en O s'opère par lits successifs et horizontaux de 0^m,30 à 0^m,40 d'épaisseur, que l'on arrose pour pouvoir mieux damer et pilonner chaque couche. Le bourrelet de terre végétale, mise en réserve sur la banquette, sert à remplir la tranchée N, et à revêtir le talus concave du massif, sur une épaisseur de 0^m,40 à 0^m,45. Ce revêtement exige des soins particuliers afin que les gazons en mottes humides, serrés fortement après ressuyage, puissent bien reprendre. Au besoin, on assujétit les mottes avec des fiches en sifflet, de 0^m,15 à 0^m,20 de longueur, à raison de deux fiches en dia-

gonale par motte. S'il n'y a pas de gazons, on sème.

De même que pour le couronnement LL (fig. 51 et 52), et le talus intérieur MM, le semis de gazon, sur le talus concave KK, peut se faire économiquement en échiquier (fig. 53). Les bandes de 0^m 30 de largeur se coupent d'équerre, et laissent entre elles des carrés libres de 1/2 mètre. On peut de la sorte, avec 1^m,20 carré de gazon, enherber 2 mètres carrés de talus.

Des épines plantées sur l'arête du couronnement, du côté des terres (fig. 52), contribuent à consolider l'ouvrage et donnent un produit. Au cas de crues extraordinaires, les haies de la crête permettent aussi de surélever la digue par des fascines, des saucissons de paille, liés solidement au buisson. Au pied du talus intérieur on peut planter des arbres, mais de l'autre côté du fossé, il faut s'abstenir, de crainte que les racines ne favorisent les infiltrations à la base du massif, ou que les arbres couchés par le vent ne dégradent le talus.

Le pied du talus extérieur, si les eaux sont torrentielles, est renforcé au besoin par de la maçonnerie, et de préférence, par des enrochements.

Sur les points directement exposés à un courant trop violent, on installe des épis en terre, qui se rattachent au corps de la digue et descendent obliquement en pente douce, vers l'aval, avec un profil courbe. Le sommet rampant de ces épis est arrondi jusqu'à la banquette de garde avec laquelle ils se raccordent; on les gazonne complètement.

Si la banquette de garde vient à manquer, on la remplace par un clayonnage parallèle à la digue, dressé dans une tranchée et incliné du côté du terrain. Le clayonnage s'élève de 0^m,10 seulement au-dessus du pied du talus; on le remblaye en gravier et en terre, par-dessus le gravier.

Une crue se produisant avant que la digue soit achevée, il est urgent de régler en talus l'extrémité incomplète, et de la protéger par de forts piquets.

L'écoulement des eaux, dans les terrains situés à l'arrière de l'ouvrage, se pratique à l'aide de buses en planches bien assemblées, consolidées de tasseaux et enveloppées de terre grasse; elles traversent le massif de part en part, et sont pour-

vues de clapets, ou de planchettes qui s'opposent au refoulement des eaux en crue.

Au cas où une digue à construire est isolée, c'est-à-dire qu'elle ne s'adosse pas à un terrain élevé au-dessus du niveau des crues, ou à des digues déjà existantes, il y a lieu de donner au talus, du côté des eaux une courbe qui se raccorde tangentiellement avec le talus extérieur, en formant comme un musoir dont le sommet soit deux fois aussi large que la crête de la digue elle-même. Ce musoir, établi en terre forte, arrosée, bien pilonnée, et sans gravier, présente un talus très incliné, 2 de base sur 1 de hauteur; on lui donne une surface concave à la partie inférieure pour qu'il s'adapte plus exactement sur le sol d'assiette et sur la banquette; enfin, on le gazonne, avec piquetage à quatre broches.

De petites levées gazonnées, placées derrière le musoir, empêchent que les eaux en crue tournent trop près, tant que l'enceinte n'est pas complète (1).

Dans les vallées où les crues torrentielles, sans emporter les terrains, les enfouissent sous les alluvions, les digues longitudinales continues, quoique coûtant plus cher, sont d'un usage plus répandu que les épis; elles occupent moins d'espace sur le terrain en bordure, et leur tracé est plus facile dans les cours sinueux.

Les digues ont en général de 2 à 3 mètres de largeur au couronnement et s'élèvent de 2 à 3 mètres au-dessus du fond. Le talus, du côté des eaux, est revêtu d'un perré incliné à 45 degrés et fondé de 1 mètre à 1^m,50 dans le lit. Le talus opposé est celui que donnent naturellement les terres coulantes.

L'inconvénient de talus trop rapides est indiqué dans la figure 54. Le perré en *a*, établi sur une trop forte pente, s'est creusé, tandis que s'il avait été appliqué à 45 degrés, comme en *b*, il aurait résisté dans les mêmes circonstances.

Les murs à chaux et à sable, employés au lieu de perrés, se dégradent plus facilement et reviennent plus cher. Ils n'offrent pas, d'autre part, la ressource de pouvoir suivre l'exhaussement graduel du lit sans s'affaiblir; tandis que les perrés peuvent s'élever en soutenant la poussée

(1) Polonceau. *Des Eaux en agriculture*, p. 66.

des eaux. Quand le lit, au contraire, s'affouille, les perrés se comportent mieux que les murs, à cause de leur inclinaison.

Du reste, si l'on redoute un affouille-

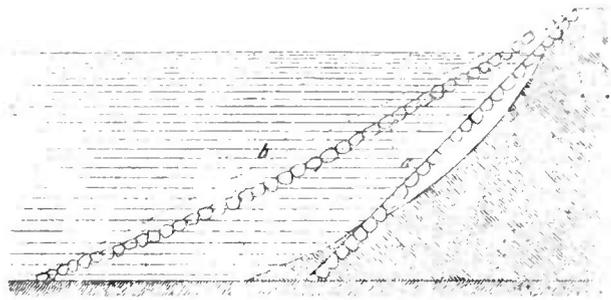


Fig. 54. — Digue à talus trop rapide; *a* perré miné; *b* talus convenable à perreyer.

ment, on fortifie le pied de l'ouvrage, dans les deux cas, par un enrochement de blocs dressés sur la surface, pénétrant dans le sol suivant une tangente verticale à la courbe de la digue, avec une profondeur de 2 mètres, pour une largeur de 3 mètres environ. A défaut de blocs d'en-

rochement, des éperons ou petits épis enracinés au pied des massifs, garantissent également la fondation.

L'endigement pratiqué sur une rive, en resserrant le cours d'eau contre une berge naturelle résistante, ou bien sur les deux rives, en l'encaissant entre deux levées résistantes, ne résout pas la question de défense générale.

Dans les deux modes d'encaissement dont les effets sont en tous points semblables, il est indispensable que, tant au point de vue de la section et de la pente, que de la direction à donner au courant, le chenal ne s'exhausse pas.

L'affouillement étant dès lors une condition à remplir, il importe d'éviter une section trop large, en s'appuyant, pour le calcul des profils en travers, sur les données de l'expérience; de tracer l'axe autant que possible en ligne droite, ou de s'écarter le moins possible de la

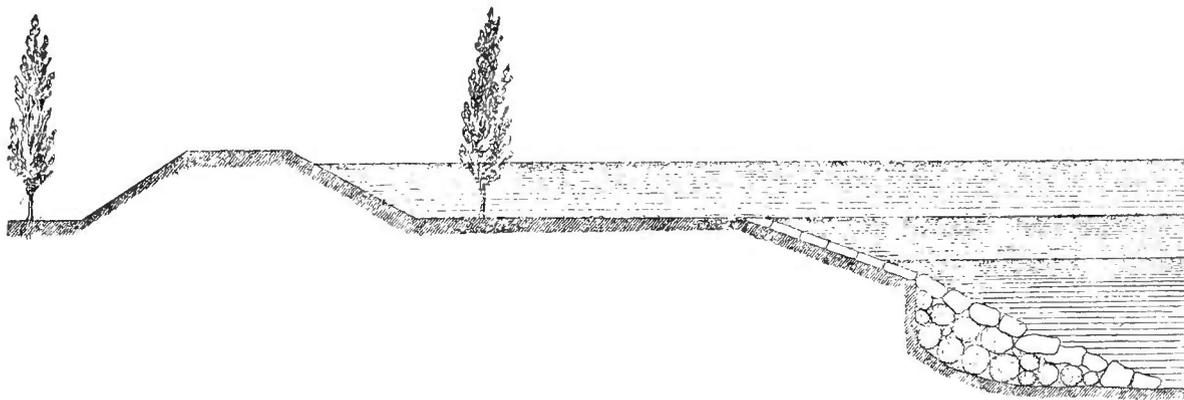


Fig. 55. — Digue d'inondation du Rhin (système mixte).

directrice moyenne, afin d'accroître la pente, de détruire les causes de perte de vitesse et de combattre l'exhaussement du lit au-dessus de son talus naturel.

Sur les fleuves et les rivières non torrentielles, l'endigement est soumis à d'autres conditions, qui ne seront pas exposées ici. Nous nous bornons à donner comme type des digues d'inondation,

dans les grandes vallées, celui de la digue du Rhin (fig. 55), défendue par un enrochement mixte de paniers de gravier, et de blocs de pierre, suivant ce que nous avons indiqué à l'article des fascines. Les eaux moyennes arrosent la banquette ainsi protégée, tandis que les hautes eaux atteignent le niveau de 1^m,50 au-dessous de la crête de la digue elle-même.

IV

CURAGE DES COURS D'EAU

L'encombrement du lit d'un ruisseau par les herbes qui y croissent, ou par les terres qui s'y déposent, suffit pour s'opposer à l'écoulement de l'eau et transformer en marécages le fond de certaines vallées. Le curage, et quelquefois le faucardement tout seul, rétablissent l'écoulement.

Comme le fait remarquer Hervé-Mangon (1), le curage à vif d'un ruisseau est en lui-même une opération très facile, mais qui exige une certaine attention pour être bien exécutée; surtout quand on met à profit ce curage pour redresser le lit, supprimer les coudes trop brusques et redonner par là de la pente au cours d'eau.

Projets des opérations. — S'il s'agit d'un ruisseau de quelque importance, il convient, avant de commencer les travaux, de lever un profil en long très exact et une série de profils en travers, au moyen de forts piquets en bois, plantés dans les rives, numérotés, et distants de 20 à 100 mètres les uns des autres. On nivelle exactement sur la tête de ces piquets, et au droit de chacun d'eux, puis on dresse le profil transversal à une échelle, par exemple de 0,005, sur lequel on trace la forme actuelle du lit et celle qu'on veut lui donner par le curage. Cette forme à donner varie nécessaire-

ment d'un point à un autre, en raison de la pente, de façon à assurer toujours un même débit. Les divers profils servent, suivant la section que le calcul permet d'établir, à calculer les terrassements, souvent avec une réduction notable dans le cube des terres, et la dépense à faire.

On adopte habituellement, pour la section du lit, un plafond horizontal et deux berges dont l'inclinaison varie de 1 à 2 de base pour 1 de hauteur; le courant se charge, pour peu que le fond soit meuble, de donner la courbe naturelle.

On est porté le plus souvent à agrandir la section actuelle, parce qu'elle se trouve encombrée, mais on rencontre des parties conservées naturellement, qui aident à déterminer les dimensions du lit, sans contestation entre les riverains. L'essentiel est d'éviter, par le curage, le déversement des eaux sur les plaines dans les crues annuelles ordinaires; ce que l'on obtient par un entretien rationnel du lit. Quant à rechercher une section capable de contenir les crues exceptionnelles, ce serait vouloir augmenter les dépenses premières et celles d'entretien, les grever de la reconstruction de ponts insuffisants, et agir d'une manière préjudiciable sur les inondations des plaines en aval, en augmentant à la fois le volume et la vitesse des eaux qui y arrivent (2).

(1) Hervé-Mangon. *Dictionnaire des arts et manufactures, etc. Agriculture, t. 1.*

(2) Maitrot de Varenne. *Des irrigations et dessèchements dans la Haute-Garonne*, p. 258.

Les riverains, dont les terres sont imperméables, n'ont aucun intérêt à voir augmenter les sections du lit au delà de celles antérieurement fixées, pour les mettre à l'abri des inondations ordinaires, et à ne pas exécuter les travaux, du moment où les propriétaires en amont, en aval et vis-à-vis, les exécutent sous un contrôle éclairé. Le danger n'existe que lorsque les mesures administratives, telles que l'enlèvement des plantations gênant l'écoulement des eaux, sont partiellement appliquées, ou d'une manière inintelligente.

Mise à exécution des projets. — Le curage des cours d'eau qui ne réclament pas de redressement, de dragage mécanique, ou de forts endiguements, est généralement laissé, en vertu des règlements et des usages, à la charge des riverains aboutissants : c'est à leur avantage; autrement, il faut recourir à une association syndicale, comprenant les propriétaires les plus éloignés, qui se substitue au droit absolu de chacun sur la partie de berge confinante à ses terres. Il est vrai que, même en association, les riverains peuvent être admis à se charger des travaux qui les touchent, mais ils n'en sont pas moins plus assujettis que lorsqu'il s'agit d'une opération toute personnelle, à exécuter dans un délai tel, qu'ils peuvent employer aux époques utiles les bras inoccupés.

Il en est autrement pour les cours d'eau d'une plus grande importance, qui nécessitent des travaux pour lesquels les riverains sont tenus de s'adjoindre les divers intéressés à l'amélioration, et dont les dépenses sont à répartir entre les communautés. Dans ce cas, à défaut d'association syndicale, c'est un règlement d'administration publique qui fixe la quotité de la contribution de chaque imposé, en rapport avec le degré d'utilité qu'auront pour lui les travaux à exécuter (1).

A la suite de mesures plus récentes, prises dans un grand nombre de départements, la rédaction des projets de curage, ainsi que leur exécution, aux termes de l'article 1^{er} de la loi du 14 floréal an XI, a été confiée aux ingénieurs des ponts et chaussées. Pour satis-

faire à la fois au texte de la loi, aux anciens règlements, aux usages locaux en vigueur, et aux besoins réels de l'agriculture, les ingénieurs ont généralement admis que les anciennes limites des cours d'eau, vieux fonds et vieux bords, devaient être déterminées, plutôt par la section nécessaire à l'écoulement des eaux, représentant l'état normal, que par l'état résultant d'opérations confiées jusqu'alors aux autorités municipales.

Règlement pour le Lot. — Comme exemple des dispositions appliquées, nous choisirons le règlement de l'ingénieur en chef, Capella, basé sur celui du grand maître des eaux et forêts de la Guyenne, (1773), pour plusieurs cours d'eau du département du Lot, et mis en vigueur après 1853, dans le même département, avec un succès complet.

Sur la demande des intéressés, soumise à une première enquête pour déclaration d'utilité publique, et sur le rapport des ingénieurs, un arrêté réglementaire est rendu depuis lors, d'après la formule suivante :

Art. 1^{er}. — Désignation des cours d'eau, des communes traversées, et des sections à curer.

Art. 2. — Le curage est mis à la charge des propriétaires riverains et des usiniers, chacun au droit de soi, sous la surveillance des maires, et la direction des ingénieurs, qui proposent les redressements et élargissements reconnus utiles, et ne les exécutent qu'avec le consentement, le plus souvent accordé, des riverains.

Art. 3. — Tableau indiquant les dimensions à donner à la cuvette du cours d'eau ainsi que la pente.

Art. 4. — Résultat du piquetement préalable soumis aux réclamations des intéressés.

Art. 5 et 6. — Ordres pour l'enlèvement des arbres, barrages, ponts et autres ouvrages en saillie sur la cuvette; pour l'abaissement des barrages servant aux usiniers ou aux irrigations, à 0^m,30 au moins en contre-bas des terres; pour la construction de pertuis adjacents, de vannes de décharge et déversoirs à chaque usine.

Art. 7. — Fixation de l'époque d'achèvement du curage.

Art. 8. — En cas d'inachèvement dans le délai fixé, ordre d'exécution d'office.

L'arrêté accompagné du rapport des ingénieurs, après avoir été soumis à une seconde enquête, est approuvé, avec ou sans modifications, par le préfet.

(1) Loi du 14 floréal, an XI (4 mai 1803), sur le curage des rivières non navigables.

Si, à l'expiration du délai, les travaux sont incomplets, les ingénieurs établissent des ateliers en régie, ou à la tâche, pour leur continuation. A ces ateliers viennent se joindre ceux des riverains qui aiment mieux acquitter leur prestation en nature, tandis que les autres payent les journées des ouvriers employés en régie pour leur compte.

Pour les travaux achevés, les rôles de répartition des dépenses payées par le département sont dressés, et le recouvrement en est opéré comme en matière de contributions directes.

Résultats obtenus dans le Lot. — Sur une longueur totale de 118 kilomètres de ruisseaux complètement curés au 1^{er} janvier 1858, dans le Lot, la dépense se divisait ainsi :

	fr. c.
Ouvrages faits par les riverains.....	18,047 65
— payés par les riverains...	35,851 07
— — sur les fonds du département.....	23,142 11
Dépense totale.....	77,040 83

ce qui fait ressortir le prix moyen du curage à 0 fr. 65 par mètre courant (1), et à 72 fr. 22 par hectare.

En étendant les curages, pour la superficie de ce seul département, à 1,000 kilomètres de cours d'eau, qui représentaient l'assainissement par dessèchement, ou par drainage, de 9,000 hectares, il restait une dépense à faire de 650,000 fr., à raison de 72 fr. 22 par hectare. Il devait en résulter une augmentation brute de valeur, par hectare, égale à 800 fr. et au total, à 7 millions 200,000 fr., correspondant à une augmentation de valeur nette par hectare, de 726 fr. 67, et au total, de 6 millions 540,000 fr.; sans compter le bienfait de l'atténuation des crues par l'accélération donnée aux écoulements.

Règlement pour Seine-et-Marne. — L'arrêté du préfet de Seine-et-Marne du 1^{er} décembre 1852 (2), sous une autre forme, a prescrit des mesures plus complètes encore que dans le Lot.

1^o Le curage de tous les cours d'eau non navigables, sans exception, ainsi que des canaux et fossés creusés de main d'homme pour la vidange des eaux, sera exécuté

annuellement, dans le courant du mois de septembre, par les propriétaires riverains, chacun au droit de soi, et par les propriétaires de barrages, dans toute l'étendue du remous apparent, et sur une longueur de 50 mètres à l'aval de la chute, si mieux n'aiment les propriétaires riverains exécuter eux-mêmes ce curage, afin d'éviter l'introduction des tiers sur leurs héritages.

2^o Faute par les dits propriétaires d'avoir exécuté le curage dans le délai fixé, il y sera pourvu à leurs frais, et le montant de ces frais sera recouvré dans les formes prescrites par la loi du 14 floréal an XI.

3^o Les travaux de curage comprendront :

a) L'enlèvement, dans les limites indiquées par les profils, de la vase, des terres, des pierres, des atterrissements de toute nature et de tout âge, et en général de toutes les matières obstruant le lit.

b) Le recépage ou l'arrachage, selon le cas, de tous les arbres, arbustes, souches et racines, et la destruction de tous les ouvrages non autorisés, se trouvant dans les mêmes limites.

4^o Il sera procédé, par les soins de l'ingénieur en chef du département, à la confection d'une carte hydrographique et à un recensement général des cours d'eau naturels du département, ainsi que des canaux et fossés creusés pour la vidange des eaux.

5^o Des bornes hectométriques seront placées le long de chaque cours d'eau, depuis la source, ou l'entrée dans le département, jusqu'à l'embouchure, ou la sortie du département.

Il sera ensuite procédé au nivellement en long et à la détermination de la section moyenne de chaque cours d'eau.

Puis, des profils seront établis de distance en distance, pour servir de repères au curage, de manière que la section du cours d'eau soit régulière entre deux profils, et que le plafond soit dressé suivant des pentes uniformes assez fortes pour assurer en tout temps l'écoulement des eaux.

En conséquence, les agents de l'administration..... sont autorisés à entrer dans les propriétés, mêmes closes, pour y faire les opérations prescrites.

6^o Il sera dressé, en même temps, pour chaque cours d'eau, et pour chaque rive, un état général des propriétaires riverains, divisé par commune, avec les numéros de la matière cadastrale.

7^o Il sera dressé pour le curage d'un ou plusieurs cours d'eau, un bail d'entretien de trois ou six années.

Un même cours d'eau pourra être divisé en plusieurs parties; dans l'étendue de chacune desquelles un prix moyen sera fixé pour le curage d'un mètre courant.

Ce prix moyen pourra être augmenté,

(1) De Saint-Claire, *Géologie agricole du Lot Ann. des ponts et chaussées*, 1859).

(2) *Journal d'Agriculture pratique*, 1853, t. VII.

pour le premier curage, dans une proportion fixée et d'après l'état du cours d'eau.

8° Tous les curages devront être entrepris simultanément le premier lundi de septembre.

A cet effet, chaque usinier ou propriétaire de barrages devra lever les vannes et faire les eaux basses dans son bief, depuis le dimanche, à minuit, jusqu'à huit heures du soir du dernier jour fixé par le cahier des charges, sans pouvoir prétendre à aucune indemnité de chômage pendant ce temps.

9° et 10° Exécution, vérification et réception des travaux de curage.

11° Aussitôt après la réception définitive des travaux, les cotes non libérées seront mises en recouvrement par le percepteur, comme en matière de prestation sur les chemins vicinaux.

12° Toutes les opérations relatives au tracé, à la vérification et à la réception des travaux seront faites gratuitement.

13° A l'égard des cours d'eau dont le curage n'aurait pas fait l'objet d'une adjudication, les travaux seront achevés en régie aux frais des propriétaires riverains, retardataires ou récalcitrants, sous la direction d'un surveillant, ou chef d'atelier dont le salaire sera compris dans les frais de régie à répartir entre tous les propriétaires, proportionnellement aux longueurs de rives de chacun.

14° Les propriétaires riverains seront tenus de souffrir le dépôt, sur leurs terrains, des produits du curage, dans les limites qui seront fixées, et le passage des ouvriers.

Dans le délai de trois mois, après l'exécution des travaux, ils devront régaler sur leurs propriétés les terres et produits du curage, ou les faire enlever à leurs frais, de manière qu'il ne reste sur les bords du cours d'eau aucun remblai ou dépôt nuisible à l'écoulement des eaux, ou à la salubrité publique.

Les matériaux provenant de la démolition d'ouvrages illégalement établis seront enlevés par ceux qui auront fait ces travaux, ou seront transportés d'office, et à leurs frais, dans l'endroit que le maire désignera, sans préjudice des peines encourues et des dommages occasionnés par suite de ces ouvrages.

15°. — Les propriétaires ou locataires d'usines sont autorisés à opérer le faucardement des herbes accrues dans le lit des cours d'eau naturels, canaux et fossés de vidange, du 25 juin au 10 juillet, après la première coupe des foins.

Pendant ce temps, ils auront droit de passage sur les propriétés riveraines non closes, mais ils ne pourront y déposer les herbes coupées, lesquelles, sauf la permis-

sion des riverains devront être transportées sur les propriétés des dits usiniers.

Il seront d'ailleurs responsables des dégâts qui pourraient résulter du simple passage sur les rives.

16°. — Il est expressément défendu de faire, sans autorisation préalable, dans le lit, ou à côté des cours d'eau, etc., des constructions de nature à gêner le libre écoulement des eaux, ou à en altérer le régime, telles que barrages, prises d'eau, lavoirs, murs de clôture, bâtiments, rouvoirs, etc.

A l'avenir, aucune plantation ne pourra être faite, à moins de 2 mètres des bords des cours d'eau naturels non navigables, et à moins de 1 mètre du bord des canaux et fossés de vidange.

Il serait facile de multiplier les exemples des résultats avantageux que procurent les règlements et arrêtés locaux, relatifs au curage des cours d'eau, aux termes de la loi du 14 floréal an XI, quand ils sont mis en harmonie avec la législation actuelle, et coordonnés par l'administration départementale pour les mêmes cours d'eau, c'est-à-dire, qu'ils embrassent l'ensemble de chaque bassin.

Pour cela, il serait désirable que les circonscriptions fussent modifiées, en ce qui concerne le régime et la police des eaux, de sorte qu'elles aient pour base les bassins des versants naturels, et non pas les divisions administratives par départements et arrondissements.

De longue date, le département du Calvados a vu fonctionner, pour chaque bassin compris dans sa circonscription, l'Orne, la Vire, la Touque, etc., un syndicat dont les membres visitent annuellement tous les cours d'eau, ordonnent les travaux à faire, surveillent ceux en exécution, et condamnent les retardataires et les délinquants à des amendes parfois considérables. Ces amendes se sont payées sans contestation, en raison de l'intérêt général qui est en jeu (1).

Malgré le zèle de cet ancien syndicat, les mesures prises et réalisées dans le Calvados demeurent incomplètes quant au régime des cours d'eau principaux, et parfois inefficaces, tant que les départements limitrophes, l'Eure, l'Orne, la Manche, ne font rien pour l'amélioration de chaque bassin, ou bien travaillent à

(1) Lefour, *Journal d'Agriculture pratique*, 1846.

l'entretien en amont, suivant d'autres errements.

L'amélioration par voie de curage des cours d'eau tributaires de plusieurs départements ne saurait être rationnel et efficace, que si les plans ayant fait l'objet d'une étude d'ensemble, sont approuvés et exécutés de commun accord.

Plantes aquatiques. — Dans les canaux et fossés d'assainissement, comme dans les rivières, les plantes aquatiques se distinguent en plantes *de fond*, et plantes *de surface*.

Parmi les premières qui ont leurs racines dans le lit et n'émergent que pour fleurir, le roseau, le presle, les massettes, les joncs et les nymphéacées, telles que le nénuphar et la morrène, sont les plus répandues; elles forment au travers du lit une véritable barrière de tiges entrelacées qui arrêtent le passage de l'eau. Les plantes rampantes, au contraire, comme les mousses, après avoir tapissé le lit, s'élèvent sans cesse et finissent par créer des petits barrages déversoirs qui font refluer les eaux en amont. Pour ces plantes, le faucard est insuffisant, et il faut recourir au trident en fer, à pointes recourbées, afin d'atteindre les racines, et les arracher par torsion.

Parmi les plantes qui flottent sans racines de fond, telles que les algues (conferves, lianes, etc.), les naïades (lentilles, charas, etc.), les crucifères dont certaines espèces se multiplient avec une incroyable rapidité; les unes se développent aussi bien dans les eaux à courant que dans les eaux mortes, forment des amas qui exhaussent l'eau, en obstruant le passage des matières charriées de l'amont; les autres croissent à l'abri des plantes de surface et complètent l'engorgement du cours d'eau. Les râtaux de bois à dents serrées, ou à longues dents, que l'on retourne plusieurs fois sur eux-mêmes, avant de les retirer de l'eau, ont raison de cette catégorie de plantes encombrantes.

Pratique du curage.

Outils. — Parmi les instruments qui servent au curage proprement dit, la pelle-écope (fig. 56), est le plus usité. Quand l'eau est trop profonde pour que l'ouvrier puisse l'employer en se tenant dans l'eau, il s'en sert, en se

tenant sur l'une des rives, ou en bateau. Dans ce dernier cas, la pelle est soulevée par une corde qui s'enroule sur un petit treuil que manœuvre un second ouvrier. On compte de quatre à cinq heures pour enlever ainsi 1 mètre cube de matières meubles, et de six à huit heures pour 1 mètre cube de matériaux résistants.

La bêche (fig. 57) sert à ramasser les



Fig. 56. — Pelle-écope.



Fig. 57. — Bêche

matières que la pelle (fig. 58) doit enlever, et les fourches (fig. 59, 60), à réduire celles qui sont trop dures et trop volumineuses. Des faucilles spéciales sont employées pour la coupe des herbes au fond de l'eau et à la surface. Elles sont munies d'une corde qui permet de couper, sans se tenir dans l'eau.

D'autres instruments, tels que la drague plate (fig. 61), la drague relevée (fig. 62) et la curette de fond (fig. 64) sont utilisés pour les canaux et les fossés profonds,

mais de moindre largeur que les cours d'eau.

Faucardement. — Dans les cours d'eau dont le courant est très ralenti, les plantes aquatiques se développent si rapidement, surtout en été, pendant l'étiage, qu'il est indispensable de les faucher deux fois et même trois fois par an, pour rétablir la section d'écoulement et la vitesse.

Le faucard que l'on emploie pour cette opération est composé d'un certain nombre de lames de faux rivetées ensemble, comme l'indique la figure 63 en B, de manière à laisser un jeu entre chaque lame. Le faucard étant établi à la largeur du ruisseau, ou du canal qu'il s'agit de curer, c'est-à-dire à une largeur plus grande que celle du fond, on dispose deux ou trois chaînettes en fer de 1 mètre à 1^m,30 de longueur, qui facilitent le tra-

guère à plus de 0 fr. 24 par mètre courant, avec quatre ouvriers. Sur de petits canaux, de 4 à 5 mètres de largeur, exigeant trois ouvriers, le coût se réduit

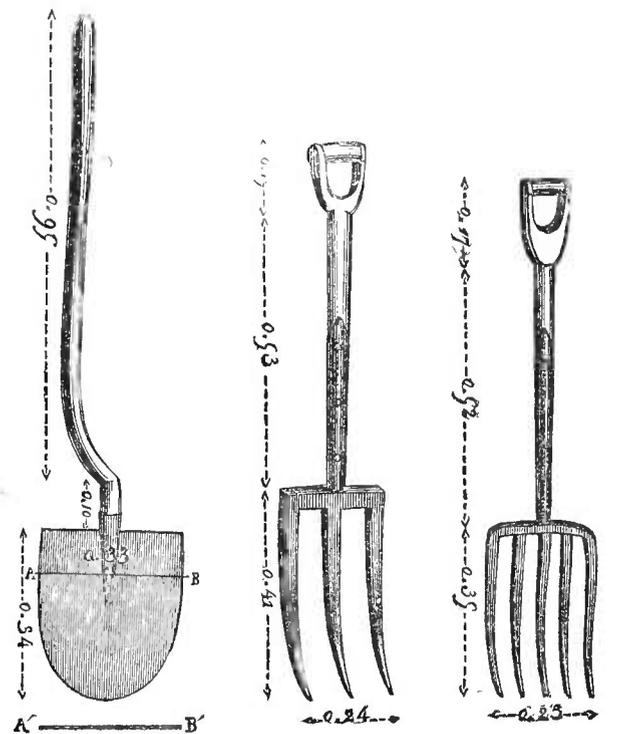


Fig. 58 Pelle. Fig. 59 Fourche à 3 dents. Fig. 60 Fourche à 5 dents.

vail en empêchant les faux de s'étendre isolément. Le faucard se termine à chaque extrémité par une attache C dans laquelle passe la corde à l'aide de laquelle les ouvriers, chacun cheminant sur une rive, font fonctionner l'appareil à contre-courant. Les herbes faucardées sont relevées par des râteaux et mises en tas sur les berges. Les mousses seules ne surnagent pas, alourdies qu'elles sont par la terre ou le sable.

Sur un chenal de 20 mètres de largeur, l'opération, à l'aide du faucard, ne revient

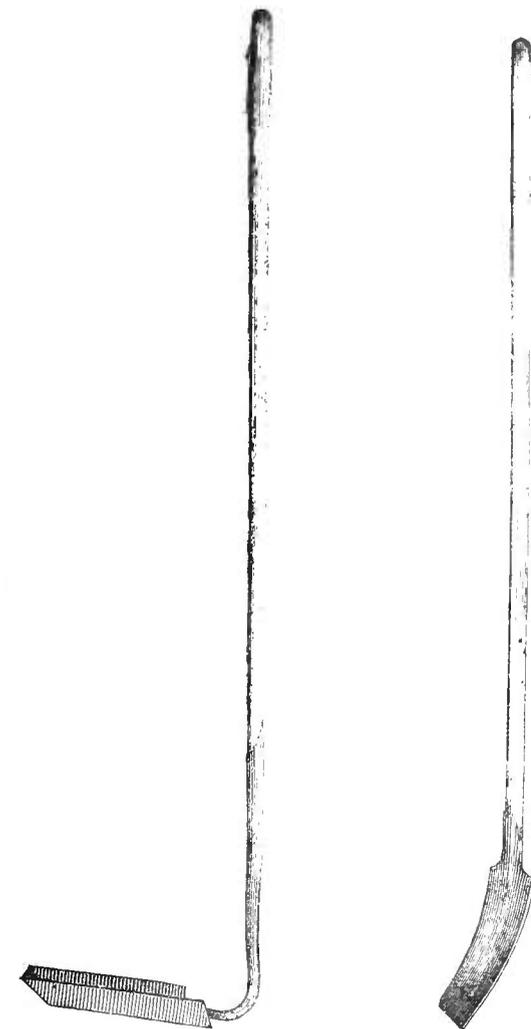


Fig. 61. — Drague plate. Fig. 62. — Drague relevée.

à 0 fr. 06 et 0 fr. 08, par mètre courant. Suivant Hagen, on peut faucarder ainsi jusqu'à 7 kilomètres par jour,

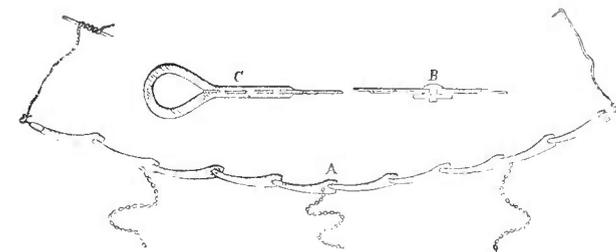


Fig. 63. — Faucard de curage.

quand on dispose du personnel de recharge qui est nécessaire (1).

Dans le district des *Fens* (Lincoln), le faucardement (*roding*) coûte environ 15 fr. 50 par kilomètre, sur les canaux de 4 à 6 mètres de largeur, et jusqu'à 25 fr.

(1) Perels. *Handbuch des Landw. Wasserbaus*, p. 163.

sur les canaux de dimensions plus grandes.

De toutes manières, cette opération exige des soins particuliers pour empêcher

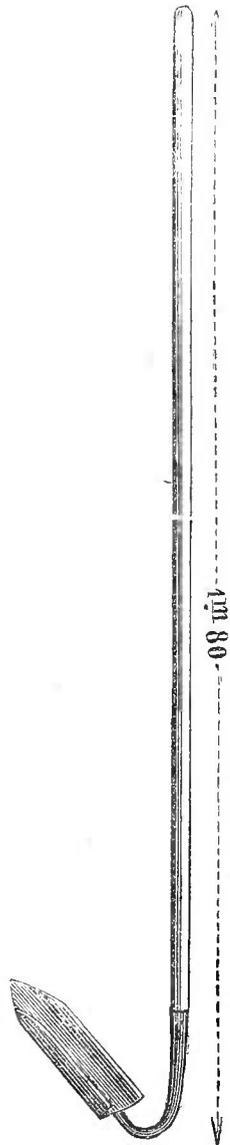


Fig. 64. — Curette de fond.

que les herbes ne s'entassent dans les creux, en arrêtant les sables et la vase, et ne créent plus tard des atterrissements

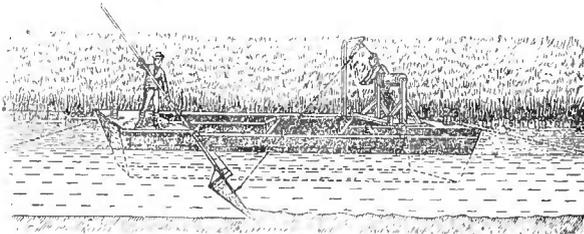


Fig. 65. — Bateau de curage.

qui auraient pour effet de causer l'érosion de l'une des rives.

Curage des terres de fond. — Le curage s'opère à vif fond et à vieux bords, en remontant de l'aval à l'amont. On se débarrasse ainsi plus facilement des eaux affluentes.

Les vases et les terres extraites à la pelle sont jetées sur les rives par les ouvriers cureurs; elle forment généralement un bon amendement que les propriétaires riverains s'empressent de répandre sur leurs champs. En se desséchant sur les berges, les bourrelets de vase donnent parfois lieu à des émanations nuisibles, ou bien, ils s'opposent à l'écoulement des eaux provenant des terres adjacentes, auquel cas, si les propriétaires ne les utilisent pas, il y a lieu de les faire enlever par des ouvriers spéciaux. Le plus souvent ils ont une véritable utilité, en protégeant les terres contre les petites crues du printemps. On les coupe alors de place en place, à la façon des digues, par des saignées munies de petits clapets que l'on ferme seulement pendant les crues, et qu'on laisse ouvertes, le reste du temps pour l'égouttement des champs voisins. Quand les bourrelets de curage sont conservés, il convient en tous cas de les entretenir avec soin, pour éviter tous effets nuisibles.

Il n'est pas toujours possible de recourir aux batardeaux, comme dans les canaux d'irrigation, pour curer le fond des cours d'eau à sec; on emploie alors des bateaux-dragues d'une construction plus ou moins élémentaire.

Bateau de curage. — L'appareil le plus simple consiste en une cuillère à sac, attachée au bout d'une perche que l'ouvrier abaisse à l'une des extrémités du bateau jusqu'à lui faire toucher le fond. La cuillère, formée d'un anneau en fer de 0^m,60 de diamètre, tient ouvert, à l'aide de pinces en fer, un sac de cuir résistant, qu'une chaîne mue par un treuil placé à l'autre extrémité du bateau, traîne sur le fond. L'ouvrier détermine un angle aigu sous lequel pénètre le sac en tirant la perche à lui. La chaîne passe sur une poulie accrochée à un montant en bois, traversant le bateau par le milieu, de façon que lorsque la cuillère à poche se trouve immédiatement au-dessous de la poulie, elle remonte verticalement par le treuil jusqu'à la hauteur du bateau dans lequel le contenu de la poche est renversé.

La poche, ou sac, est avantageusement remplacée par un auget quadrangulaire en forte tôle, à parois latérales perforées, dont le fond en acier est maintenu contre la face postérieure par une douille à

charnières que fait manœuvrer un manche en bois fort long, ce qui permet de le remplir, de le guider et le vider. Le service d'un bateau, muni de cette écope (fig. 65), exige quatre hommes : deux au treuil, le troisième pour diriger l'écope, et le quatrième pour débarrasser et répartir la vase dans le fond du bateau. On peut ainsi draguer couram-

ment de vingt à trente tonnes par jour.

Pour les travaux plus considérables, notamment quand il s'agit d'enlever les hauts-fonds, on emploie comme machine à draguer une sorte de chapelet, armé de distance en distance d'écoques ordinaires ; ce chapelet peut être mu par des hommes, par des chevaux, ou par une machine à vapeur.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	5
I. LE RÉGIME DES COURS D'EAU	7
Stabilité du régime	9
Régime des crues et leurs effets.	11
Corrosions et atterrissements.	15
II. TRAVAUX DE CONSERVATION DES COURS D'EAU	19
Plantations	20
Clayonnages	23
Fascinages	25
Enrochements.	29
Procédés mixtes.	30
Revêtement des berges	31
Muraillements.	34
III. TRAVAUX DE DÉFENSE DES COURS D'EAU	36
Epis ou éperons.	37
Estacades.	41
Digues	42
IV. CURAGE DES COURS D'EAU.	46
Pratique du curage	50



ORIENTAÇÕES PARA O USO

Esta é uma cópia digital de um documento (ou parte dele) que pertence a um dos acervos que fazem parte da Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP. Trata-se de uma referência a um documento original. Neste sentido, procuramos manter a integridade e a autenticidade da fonte, não realizando alterações no ambiente digital – com exceção de ajustes de cor, contraste e definição.

1. Você apenas deve utilizar esta obra para fins não comerciais. Os livros, textos e imagens que publicamos na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP são de domínio público, no entanto, é proibido o uso comercial das nossas imagens.

2. Atribuição. Quando utilizar este documento em outro contexto, você deve dar crédito ao autor (ou autores), à Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP e ao acervo original, da forma como aparece na ficha catalográfica (metadados) do repositório digital. Pedimos que você não republique este conteúdo na rede mundial de computadores (internet) sem a nossa expressa autorização.

3. Direitos do autor. No Brasil, os direitos do autor são regulados pela Lei n.º 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998. Os direitos do autor estão também respaldados na Convenção de Berna, de 1971. Sabemos das dificuldades existentes para a verificação se uma obra realmente encontra-se em domínio público. Neste sentido, se você acreditar que algum documento publicado na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP esteja violando direitos autorais de tradução, versão, exibição, reprodução ou quaisquer outros, solicitamos que nos informe imediatamente (dtsibi@usp.br).